

Energieverbrauch und Energieerzeugung in Thüringer Kläranlagen

Bestandserhebung und Abschätzung von
Einsparpotenzialen



Energieverbrauch und Energieerzeugung in Thüringer Kläranlagen

*Bestandserhebung und Abschätzung von
Einsparpotenzialen*

Vorwort

Kläranlagen gelten als größte Energieeinzelvebraucher einer Kommune. Sie verbrauchen bei der Abwasserreinigung und Schlammbehandlung Energie. Bei steigenden Energiepreisen wird dies ein zunehmender Kostenfaktor, den letztendlich die Verbraucher über Gebühren zu tragen haben.

Um den kommunalen Aufgabenträgern der Abwasserbeseitigung (Zweckverbände, eigenentsorgende Städte und Gemeinden) mögliche Wege der Energieeinsparungen aufzuzeigen, hat die Thüringer Landesanstalt für Umwelt und Geologie eine Bestandserhebung und Abschätzung von Einsparpotenzialen für den Energieverbrauch in Thüringer Kläranlagen erarbeiten lassen.

Mit der vorliegenden Studie „Energieverbrauch und Energieerzeugung in Thüringer Kläranlagen“ erhalten die Aufgabenträger der Abwasserbeseitigung Hinweise zu möglichen Lösungsansätzen zur Verminderung des Stromverbrauchs und zur Steigerung der Eigenstromerzeugung.

So kann der Schlamm, der in der mechanischen und biologischen Reinigungsstufe anfällt, bei einer Schlammfäulung Faulgas bilden, das im Blockheizkraftwerk der Kläranlage energetisch verwertet Wärme und Strom erzeugt. Die elektrische Energie kann direkt zum Betrieb der Aggregate innerhalb der Kläranlage verwendet werden. Diese Schritte können eingeführt oder beispielsweise durch verfahrenstechnische Maßnahmen oder den Einsatz von effizienteren Blockheizkraftwerken optimiert werden.

Im Rahmen der Erarbeitung der vorliegenden Studie wurde für die Thüringer Kläranlagen ein Gesamtstromverbrauch von ca. 87.500 MWh für das Jahr 2011 ermittelt. Dies entspricht einer CO₂-Belastung von ca. 48.000 t/a.

Würden bei allen Anlagen Maßnahmen umgesetzt, um diese im Bereich von bekannten Richtwerten zu betreiben, könnten ca. 14.500 MWh/a, oder 17 % des Gesamtverbrauchs an elektrischer Energie bei der Abwasserreinigung eingespart werden, was einer CO₂ Minderung von ca. 8.000 t/a entspricht.

Mit der vorliegenden Studie erhalten nicht nur die kommunalen Aufgabenträger der Abwasserbeseitigung wertvolle Hinweise. Auch die interessierte Öffentlichkeit erhält Informationen zum Energieverbrauch und zur Energieerzeugung in Thüringer Kläranlagen und kann für die erforderlichen Maßnahmen, deren Umsetzung mit Investitionskosten verbunden ist, sensibilisiert werden.



Jürgen Reinholz
Minister für Landwirtschaft, Forsten,
Umwelt und Naturschutz

Inhaltsverzeichnis

Vorwort

1	Situation und Aufgabenstellung	7
2	Kläranlage als Energieverbraucher	7
3	Thüringer Kläranlagen	8
4	Einwohnerspezifischer Stromverbrauch	10
5	Detaillierte Auswertung der Daten zum Stromverbrauch	12
6	Umfang der Eigenstromerzeugung	14
7	Potenziale im Bereich Stromverbrauch und Eigenstrom	19
7.1	Verminderung des Stromverbrauchs	19
7.2	Steigerung der Eigenstromerzeugung	20
7.3	Nutzung brach liegender Potenziale	21
8	Zusammenfassung	24
	Literatur / Quellen	26

1 Situation und Aufgabenstellung

In den letzten zehn Jahren haben stetig steigende Energiepreise dazu geführt, dass in allen Bereichen versucht wird, den Energieverbrauch zu minimieren. Dies betrifft öffentliche und private Abnehmer wie auch Industrie und Gewerbe. Durch die politisch beschlossenen Veränderungen bei der Energieerzeugung werden die daraus ergebenden technischen und ökonomischen Randbedingungen dazu führen, zukünftig noch stärker auf das Potenzial der Energieeinsparung zu setzen.

Im kommunalen Bereich werden u.a. die Kläranlagen als relevante Energieverbraucher betrachtet und davon ausgegangen, dass in diesen ein deutliches Einsparpotenzial gegeben ist. Da zur Abwasserreinigung immer Energie benötigt wird, sind die Einsparpotenziale durch verfahrenstechnische Randbedingungen allerdings limitiert. Potenziale sind gegeben, wenn die vorhandenen und meist technologisch veralteten maschinentechnischen Ausrüstungen modernisiert und auf den neuesten Stand der Technik gebracht werden. Neue Steuerungen und optimierte Betriebsweisen können diesen Effekt noch verstärken.

2 Kläranlage als Energieverbraucher

Kläranlagen gelten als größter Energieeinzerverbraucher einer Kommune. In Thüringen benötigen die kommunalen Kläranlagen im Jahr 2011 rd. 87.500 MWh/a, was einem CO₂-Ausstoß von ca. 48.000 t/a entspricht. Folgende Kennzahlen lassen sich daraus ableiten:

- Bezogen auf den Gesamtstromverbrauch in Thüringen entspricht dies rd. 0,8 %.
- Bezogen auf den Haushaltskundenverbrauch entspricht dies 2,4 %.
- Bezogen auf die Gesamtkosten der Abwasserreinigung entspricht dies rd. 10 %.
- Bezogen auf die Betriebskosten einer Kläranlage sind dies zwischen 15 % und 30 %.

Wird der angegebene Gesamtstromverbrauch auf die im Freistaat Thüringen derzeit lebenden ca. 2,22 Mio. natürlichen Einwohner (E) bezogen, errechnet sich ein mittlerer spezifischer Bedarf von ca. 39 kWh/E und Jahr.

Allerdings ist hierbei zu berücksichtigen, dass erst 73 % der Bevölkerung über die Kanalisation direkt an öffentliche Kläranlagen angeschlossen sind und von ca. 600.000 Einwohnern nur der Klärschlamm aus Kleinkläranlagen in den kommunalen Kläranlagen behandelt wird.

Um den Anteil der Stromkosten an den Betriebsaufwendungen für die Abwasserreinigung zu minimieren, können durch spezifische Energieanalysen (Grobanalyse und Feinanalyse) die

In der Praxis werden für die gesamte Abwasserreinigung und aller damit verbundener Prozesse und zugehöriger technischen Einrichtungen in mittelgroßen Kläranlagen insgesamt nicht mehr als 150 Watt pro Einwohner (E) und Tag an elektrischer Energie benötigt. Dies ergibt einen Jahresverbrauch von ca. 50 kWh/E-a. Im Vergleich dazu verbraucht ein einzelner Einwohner im privaten Bereich im Jahresmittel durchschnittlich 1.600 kWh. Die kommunale Abwasserreinigung verursacht demnach einen Energiebedarf, der nicht mehr als ca. 3 % des privaten Stromverbrauches entspricht.

Welche Einsparpotenziale in Thüringer Kläranlagen möglicherweise dennoch zu erzielen sind, wird in diesem Bericht durch eine Auswertung der verfügbaren Daten der Betreiber für das Jahr 2011 ermittelt. Die erhobenen Daten werden mit den Werten in Beziehung gebracht, die unter optimalen Bedingungen zu erzielen sind. Daraus leitet sich ab, welches Einsparpotenzial verfügbar ist.

energetisch ungünstigen Einheiten erkannt und entsprechende Konsequenzen gezogen werden. Grundsätzlich gilt:

- Jeder Betreiber unterliegt der Pflicht zum wirtschaftlichen Handeln. Der sparsame Umgang mit dem Geld der Gebührenzahler muss oberstes Gebot sein.
- Die Auswirkungen weiterhin steigender Energiepreise können durch einen optimierten Energieeinsatz vermindert werden.
- Bereits kleine, mitunter sogar kostengünstige Verbesserungen können zu deutlichen Einsparungen führen.
- Kommunale Unternehmen können durch positive Ergebnisse bei der Energieeinsparung Multiplikator für den industriellen und privaten Bereich sein.

Die Bewertung des Stromverbrauchs kommunaler Kläranlagen kann in einem ersten Schritt durch die Ermittlung spezifischer Verbrauchswerte und deren Vergleich mit möglichen Richt- oder Idealwerten überprüft werden. Liegt der Verbrauch darüber, sind die Ursachen zu ermitteln und Maßnahmen zur Verminderung anzugeben.

Die landesweite Auswertung des Stromverbrauchs in den Thüringer Kläranlagen basiert auf den freiwilligen Angaben in den Eigenkontrollberichten der Betreiber. Für das Jahr 2011 liegen damit einschließlich nachgefragter Werte 370 Datensätze vor, was einer Quote von rd. 64 % entspricht. Damit kann für eine große Anzahl von Kläranlagen unterschiedlicher Größenklassen deren Verbrauch bewertet werden.

Bei dem Stromverbrauch für die Abwasserreinigung ist mit zu beachten, dass in entsprechend ausgestatteten Kläranlagen der anfallende Schlamm ausgefault und das dabei anfallende Faul- oder Biogas energetisch verwertet werden kann. Wird es verstromt, kann die erzeugte elektrische Energie direkt selbst

innerhalb der Kläranlage genutzt werden. Dies ist derzeit in vierzehn Kläranlagen in Thüringen bereits der Fall. Strom aus Klärgas wird als erneuerbare Energiequelle eingestuft und ist damit CO₂-neutral.

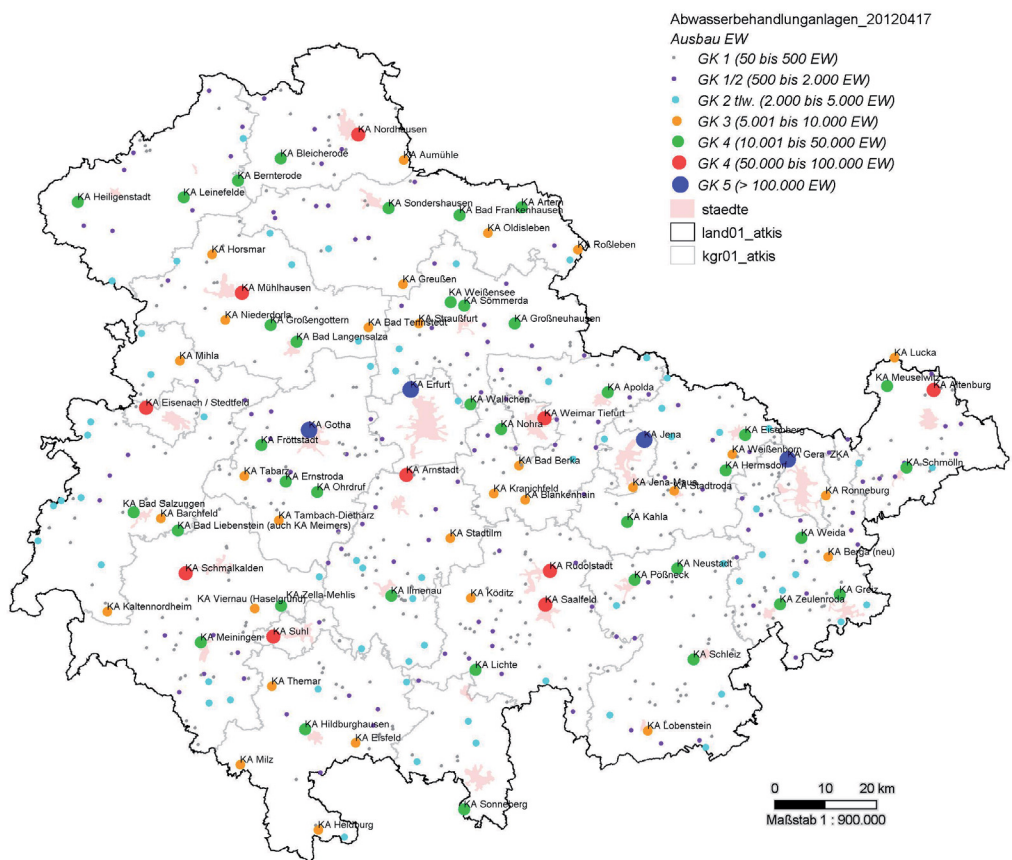


Abbildung 1: Kläranlagen nach Größen in Thüringen (Stand FIS-Abwasser 04/2012)

3 Thüringer Kläranlagen

Der notwendige Energiebedarf einer Kläranlage und somit die Ermittlung eines möglichen Einsparpotenzials ist von der Anlagengröße und vom Anlagentyp abhängig. Daher folgt in einem ersten Schritt die Bestandsaufnahme der in Thüringen vorhandenen Kläranlagen.

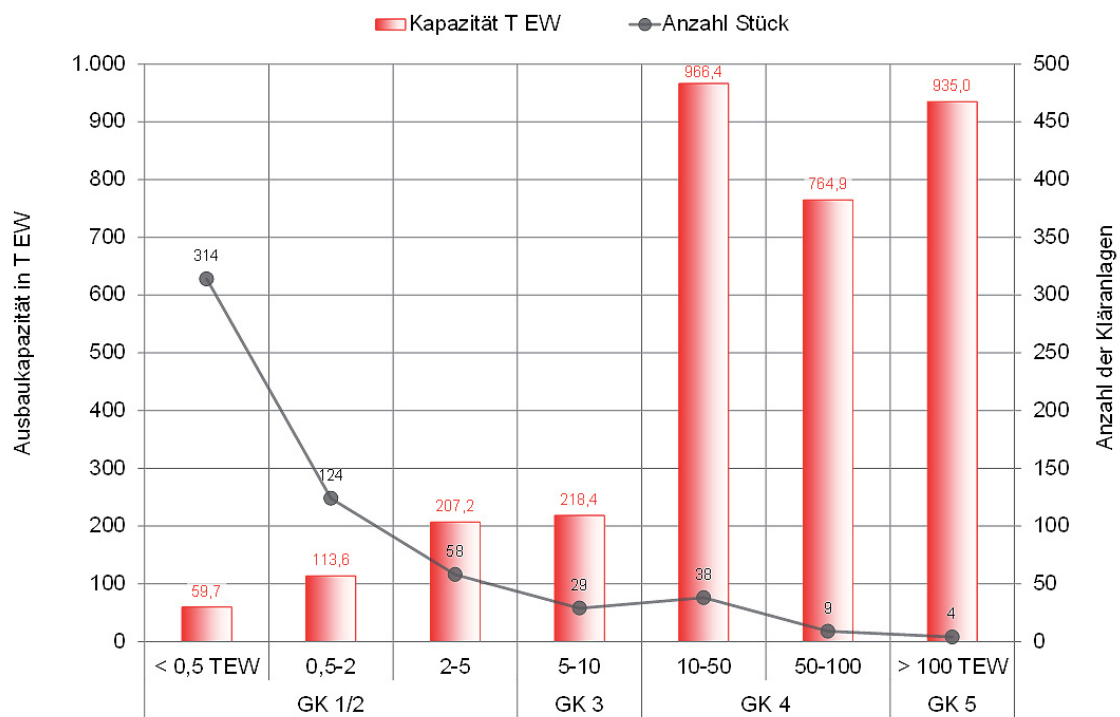
Die Anzahl der kommunalen Kläranlagen, deren Ausbaupazität und Stromverbrauch ist in Abbildung 2 auf der Basis des Jahres 2011 zusammengestellt. Die Lage und Größe der Kläranlagen enthält Abbildung 1. Aufgrund der Einwohnerzahl und der Siedlungsstruktur gibt es in Thüringen wenige große und sehr viele kleine Kläranlagen.

Zur besseren Differenzierung wurden die Größenklassen 1 und 4 nochmals unterteilt. Ab Größenklasse 3 sind die Anlagen beschriftet. Die Ausbaugröße einer Kläranlage wird in Einwohnerwerten (EW) angegeben. Der Einwohnerwert

ist die Summe aus natürlichen Einwohnern (E) und den Einwohnergleichwerten (EGW) aus industrieller und gewerblicher Belastung. Der EGW-Anteil errechnet sich als Quotient aus deren Schmutzfracht (kg CSB/d) und den bekannten einwohnerspezifischen Belastungen (kg CSB/E-d) und kann somit mit den Belastungen aus häuslichem Abwasser abgeglichen werden.

Die Darstellung der Größenklassen mit zugehörigen Ausbaupazitäten und der Anzahl der Kläranlage zeigt, dass die Größenklassen 1 und 2 (bis 5.000EW) mit zusammen 381 TEW nur ca. 12 % der gesamten Ausbaupazität aber mit 496 Anlagen etwas mehr als 86 % der Anzahl stellen.

Demzufolge verteilen sich etwa 88 % der Ausbaupazität oder 2.884 TEW auf die Größenklassen 3 bis 5, in die aber nur ca. 14 % der Kläranlagen oder 80 Anlagen fallen.



Anzahl KA Σ –	314	438	496	525	563	572	576
Anzahl KA %	54,5	21,5	10,1	5,0	6,6	1,6	0,7
Anzahl KA Σ %	54,5	76,0	86,1	91,1	97,7	99,3	100,0
Kapazität Σ TEW	59,7	173,4	380,6	599,0	1.565,4	2.330,3	3.265,3
Kapazität %	1,8	3,5	6,3	6,7	29,6	23,4	28,6
Kapazität Σ %	1,8	5,3	11,7	18,3	47,9	71,4	100,0

Abbildung 2: Anzahl Kläranlagen (KA) und Ausbaukapazität
(Quelle Eigenkontrolldaten 2011, Rundungsdifferenzen möglich)

Werden nur die vier größten Anlagen betrachtet (0,7% aller Anlagen), repräsentieren diese in der Größenklasse 5 (ab 100.000 EW) eine Ausbaukapazität von nahezu 29% der gesamten Kläranlagenkapazität Thüringens, was 935 TEW entspricht.

Die Größenklasse 4, in der Kläranlagen zwischen 10.001 EW und 100.000 EW fallen, umfasst mit 47 Anlagen ca. 8 % der Anlagen aber ungefähr 53 % oder 1.731 TEW der Ausbaukapazität.

Demzufolge beinhaltet die Größenklasse 3 (5.001 EW bis 10.000 EW) mit 29 Anlagen (ca. 5 % der Anlagen) weniger als 7 % der Ausbaukapazität (218 TEW).

Vorhandene Einwohner und Ausbaukapazität

Im Freistaat Thüringen leben ungefähr 2,22 Mio. Einwohner (E). Bezogen auf die vorhandene Kläranlagenkapazität in Höhe von 3.265.000 Einwohnerwerten (EW) steht damit rechnerisch ein Kapazitätsanteil von rd. 33 % für die gewerblichen und industriellen Einleiter zur Verfügung. Deren Belastung wird in Einwohnerequivalenten (EGW) angegeben. Die vorhandene Kapazität entspricht üblichen Größenordnungen.

4 Einwohnerspezifischer Stromverbrauch

Um den Stromverbrauch verschiedener Kläranlagen miteinander vergleichen zu können, wird ein einwohnerspezifischer Stromverbrauch ermittelt und dieser den theoretisch möglichen Idealwerten gegenübergestellt. Letztere basieren auf den Angaben der Deutschen Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V. (DWA), in deren Heft 4: „Senkung des Stromverbrauchs auf Kläranlagen, ein Leitfaden für das Betriebspersonal“, Ausgabe 2008, Landesverband Baden-Württemberg /1/. In diesem Heft werden folgende Begriffe definiert:

- EW spezifischer Stromverbrauch in kWh/EW·a
= Jahresstromverbrauch (kWh/a) / Zahl der angeschlossenen Einwohnerwerte (EW)
- Zahl der angeschlossenen Einwohnerwerte
= mittlere CSB-Fracht im Rohabwasser (kg/d) / 0,120 (kg CSB / EW·d)
- Toleranzwert (Richtwert)
= Mittelwert der ausgewerteten Kläranlagen in der Größenklasse
- Zielwert (Idealwert)
= unterschreiten heute bereits 10% der ausgewerteten Kläranlagen

Die Einteilung der Energiegrößenklassen der Kläranlage orientiert sich an der EW-Zahl im Ausbauzustand und den dafür definierten Größenklassen 1 bis 5. In Abhängigkeit zum Reinigungsverfahren sind in der vorgenannten Quelle unterschiedliche spezifische Vergleichswerte angegeben.

Im Jahr 2013 soll das DWA Arbeitsblatt A 216 - Energieanalyse von Abwasseranlagen - veröffentlicht werden, in dem diese Begriffe zusammen mit den in anderen Quellen enthaltenen Angaben vereinheitlicht werden sollen. Nach heutigem Stand wird aus „Grobanalyse“ der „Energiecheck“, aus „Feinanalyse“ die „Energieanalyse“, aus „Toleranzwert“ wird „Richtwert“ und aus „Zielwert“ wird „Idealwert“. Im weiteren Bericht werden daher bereits die Begriffe „Richtwert“ und „Idealwert“ verwendet.

Auf exakte Vorgaben wird aller Voraussicht nach in dem Arbeitsblatt verzichtet, weil das Optimum in jeder Anlage aufgrund der gegebenen Randbedingungen andere Größenordnungen annehmen kann und deshalb für jeden Einzelfall ermittelt werden muss. Berücksichtigt werden sollte immer, dass Strom sparen sinnvoll ist, aber nicht um jeden Preis.

Jahresstromverbrauch

Verglichen wird der Gesamtstromverbrauch, d.h. bei Anlagen mit Eigenstromerzeugung wird die Summe aus selbst verbrauchtem Eigenstrom und bezogenem Netzstrom gebildet.

Zahl der angeschlossenen Einwohner

Die Bezugsgröße angeschlossene Einwohnerwerte errechnet sich nach DWA-Definition für den Stromvergleich aus der mittleren CSB-Fracht im Rohabwasser (kg CSB/d) dividiert durch die spezifische Belastung, die ein Einwohner pro Tag verursacht. Dieser Wert wird mit 120g CSB/E·d angegeben. Damit wird ein Betriebswert (mittlere Tagesfracht als 50%-Wert) durch einen Planungswert (Auslegung spezifische Fracht als 84%-Wert) dividiert, was rechnerisch dazu führt, dass die errechnete Zahl der angeschlossenen EW um ca. ein Drittel kleiner ist, als tatsächlich vorhanden. Im Mittel verursacht der Einwohner aber täglich nur ca. 90g CSB. Um dadurch verursachte Verwechslungen mit den effektiv vorhandenen Anschlusswerten zu umgehen, wird der Bezugswert für den Stromvergleich als Einwohnerwert Energie (EW_{En}) bezeichnet.

Verbrauchswerte

Im neuen DWA-Arbeitsblatt „Energieanalysen auf Abwasseranlagen“ (siehe Literatur 9.) ist vorgesehen, anlagenspezifische Idealwerte individuell für die jeweils betrachtete Anlage zu ermitteln. Dies soll den Vergleich mit standardisierten Vorgaben ablösen.

Die für einen Vergleich verwendbaren Werte sind dabei nach biologischen Grundreinigungsverfahren unterteilt und in Abbildung 3 für die häufigsten Verfahren der Abwassertechnik - Belebungsverfahren mit gleichzeitiger aerober Schlammstabilisierung (BS) und mit getrennter Schlammstabilisierung (BF i.d.R. mit Faulung) - grafisch dargestellt. In den Werten ist der Energiebedarf für Zulauf- und Zwischenpumpwerke bis zu einer Förderhöhe von 3 Metern enthalten. Zusätzliche Verfahrensschritte wie z.B. Filtration, Desintegration oder Abluftbehandlung sind nicht berücksichtigt. Generell wird mit zunehmender Kläranlagengröße ein einwohnerspezifisch sinkender Stromverbrauch erwartet.

In der Abbildung 4 werden die in Thüringer Kläranlagen erhobenen Daten für den tatsächlichen Stromverbrauch (graue Balken in MWh/a) den Größenklassen 1 bis 5 zugeordnet. Der daraus errechenbare spezifische Stromverbrauch (rote Linie in kWh/EW_{En}·a) bestätigt, dass mit zunehmender Kläranlagengröße spezifisch sehr viel weniger Energie benötigt wird.

In den Größenklassen 1 bis 3 werden in der Summe ca. 26 % der gesamten für die Abwasserreinigung benötigten Energie verbraucht, obwohl deren Belastungsanteil insgesamt nur ca. 18 % beträgt. Sie verbrauchen mit im Mittel 115 kWh/EW_{En}·a nahezu 5 mal so viel Energie wie dies in den Größenklassen 4 und 5 der Fall ist.

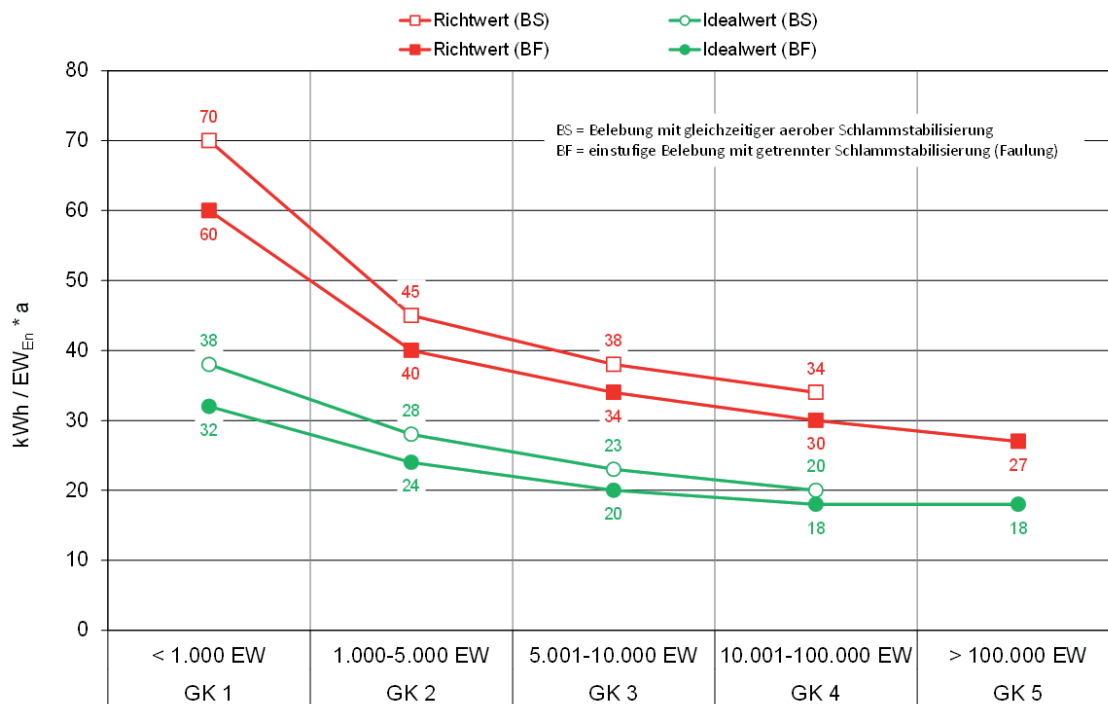


Abbildung 3: Richt- und Idealwerte für den spezifischen Stromverbrauch in kommunalen Kläranlagen nach /1/

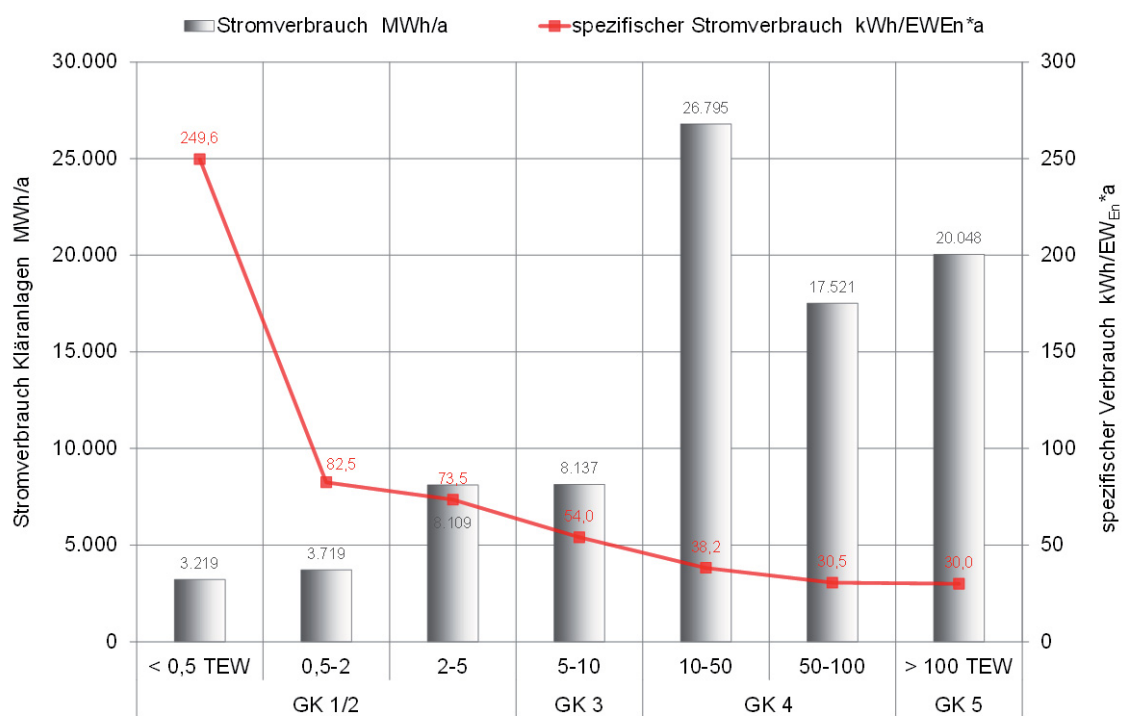


Abbildung 4: Stromverbrauch und spezifischer Stromverbrauch 2011 nach Größen

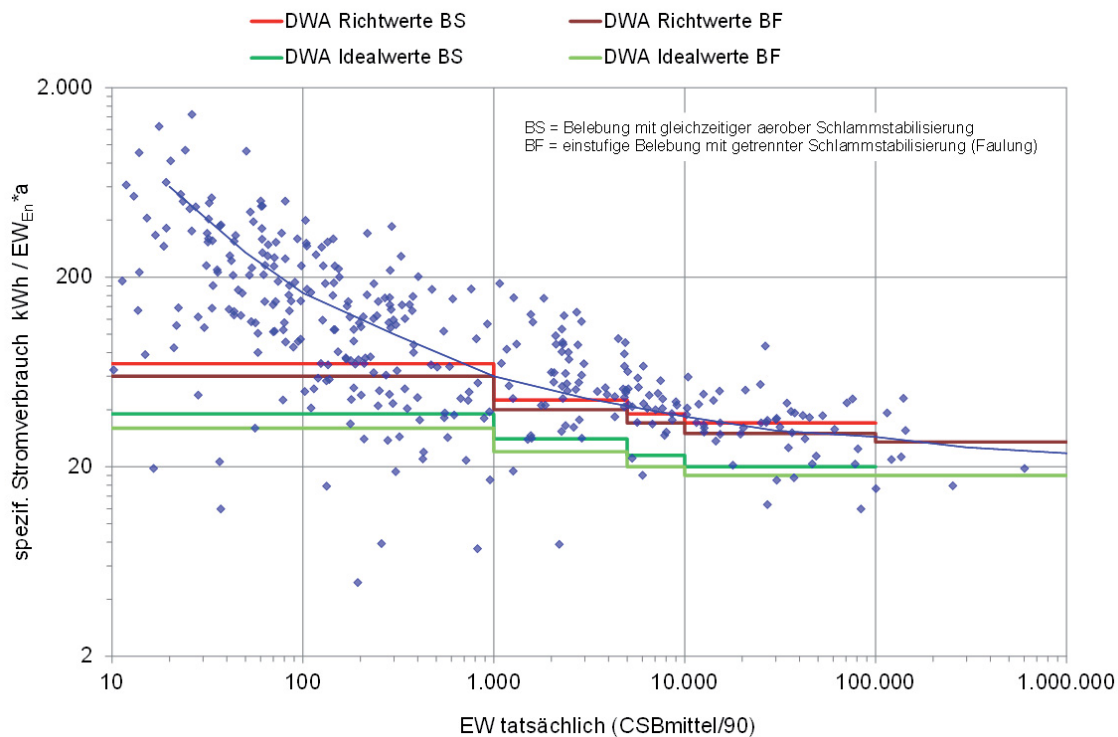


Abbildung 5: Darstellung des spezifischen Stromverbrauchs 2011

5 Detaillierte Auswertung der Daten zum Stromverbrauch

Datengrundlage für die Auswertung bilden die Eigenkontrollberichte 2011. Von 370 Kläranlagen lag der Stromverbrauch vor. Aus den Angaben Jahresabwassermenge und mittlere CSB - Konzentration wurde eine mittlere CSB - Jahresfracht berechnet. Genauer wäre die Bildung des Mittelwertes aus den Tageseinzelfrachten (siehe Literatur 1.), was aber bei der Vielzahl der Anlagen aufgrund fehlender Daten nicht realisierbar war. Damit ergeben sich zwangsläufig aufgrund der Datenbasis gewisse Streubereiche bei dem berechneten spezifischen Stromverbrauch.

Um einen Überblick zu erhalten, wurde in Abbildung 5 der spezifische Stromverbrauch in Abhängigkeit von der tatsächlichen EW-Belastung dargestellt. Beide Achsen sind logarithmisch skaliert, um alle Größenordnungen sinnvoll darstellen zu können. Es zeigt sich ein klarer Trend zu einem geringeren einwohnerspezifischen Stromverbrauch mit zunehmender Kläranlagengröße.

Aus der Darstellung lassen sich folgende Erkenntnisse ableiten:

- Während der Stromverbrauch bei den großen Anlagen überwiegend im Bereich der Richt- und Idealwerte liegt, ist der Stromverbrauch auf den kleineren Kläranlagen deutlich erhöht. Bei Anlagen < 5.000 EW steigt der spezifische Stromverbrauch massiv an.
- Im Vergleich verbrauchen große Anlagen rd. 30 kWh/EW_{En}-a, Anlagen kleiner 100 EW liegen mit rd. 300 kWh/EW_{En}-a um den Faktor 10 höher.

- Für Kläranlagen < 100 EW wären höhere Richt- und Idealwerte sicher angebracht.
Der Praxisleitfaden der DWA unterteilt aber nicht weiter.
- Bezugsbasis für den spezifischen Stromverbrauch ist die CSB-Fracht. Gerade bei den kleinen Kläranlagen liegen mit maximal 6 Stichproben nur wenige Messwerte für eine fundierte Ermittlung der Zulaufkraft vor. Demzufolge ergeben sich hier auch die größten Unterschiede zwischen der CSB-Fracht und der Betreiberangabe zu den angeschlossenen Einwohnern.

Mit den vorliegenden Angaben von 370 kommunalen Kläranlagen ergibt sich ein Stromverbrauch von 81.100 MWh/a. Werden für die Kläranlagen ohne Verbrauchsangabe größentypische Werte eingesetzt, kommen weitere 6.400 MWh/a hinzu. Damit verbrauchen die kommunalen Kläranlagen in Thüringen rd. 87.500 MWh/a.

Die Abbildung 5 beinhaltet alle vorhandenen abwassertechnischen Verfahren, bei denen das Belebungsverfahren der Standard ist. Daneben sind andere Verfahren im Einsatz, deren spezifischer Stromverbrauch in der folgenden Abbildung 6 nach Gruppen klassifiziert dargestellt ist. Die Informationen zum Verfahren wurden dem Fachinformationssystem (FIS)-Abwasser entnommen und in dieser Form weiter verwendet. Bei mehreren Kläranlagen war kein Verfahren eingetragen, so dass bei diesen keine Zuordnung möglich war.

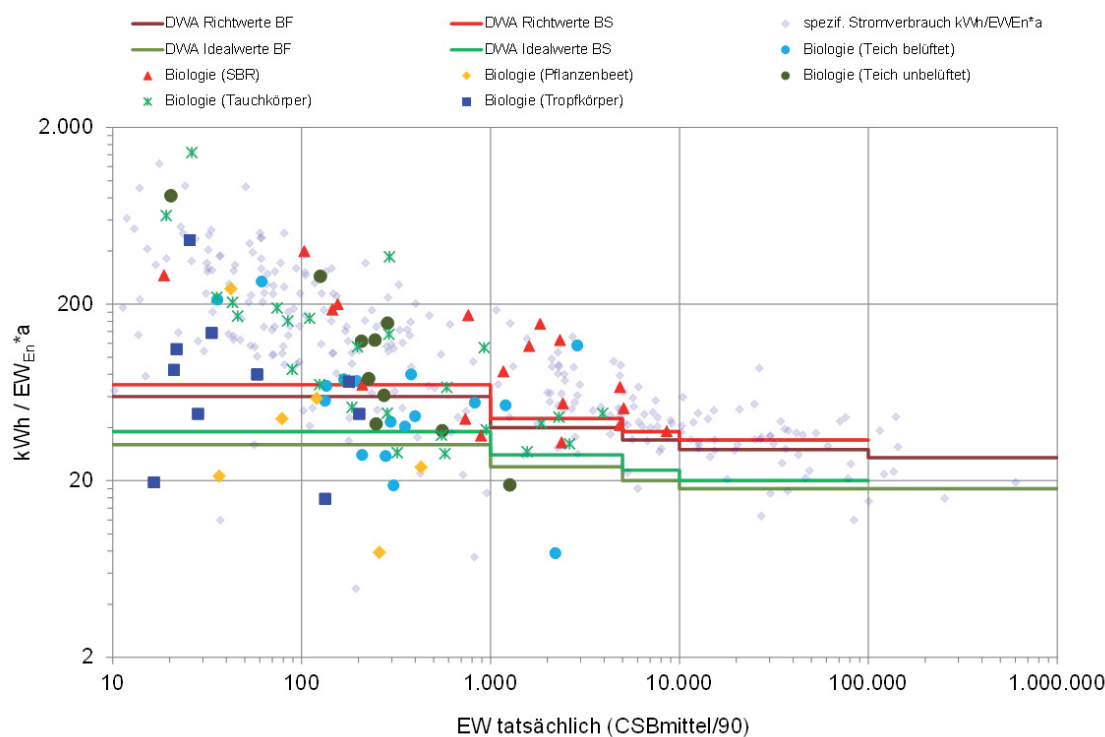


Abbildung 6: Spezifischer Stromverbrauch 2011, klassifiziert nach Reinigungsverfahren (abweichend von „Belebung“)

Aus der Klassifizierung nach Reinigungsverfahren lassen sich Tendenzen ableiten:

- SBR-Anlagen liegen bis auf wenige Ausnahmen eher im oberen Bereich.
- Tauchkörper weisen einen eher niedrigen Energieverbrauch auf.

- Pflanzenbeete und Tropfkörper weisen einen niedrigen Energieverbrauch auf.
- Belüftete und unbelüftete Teiche unterscheiden sich kaum.

Bis auf die sich ergebenden spezifischen Werte bei den Teichanlagen sind die Daten abwassertechnisch nachvollziehbar.

6 Umfang der Eigenstromerzeugung

In Thüringen gibt es aktuell lediglich vierzehn kommunale Kläranlagen, in denen anfallender Schlamm ausgefault und das erzeugte Faulgas in einem Blockheizkraftwerk (BHKW) verstromt wird. Dagegen waren zum 01.01.2012 rd. 226 landwirtschaftliche Biogasanlagen in Thüringen in Betrieb (Quelle: http://www.tll.de/ainfo/bga_info/bga_0806.htm). In Abbildung 7 (siehe S. 14) sind die Kläranlagen mit Klärschlammfaulung in Thüringen dargestellt. Ergänzend sind auch die siebzehn Anlagen mit mehr als 20.000 Einwohnerwerten (EW) ohne Faulung mit eingetragen, in denen der Klärschlamm unter Energieverbrauch aerob stabilisiert wird.

Die größte kommunale Faulung betreibt Erfurt mit einer Ausbaugröße der Kläranlage von 375.000 EW. Die Kläranlage Hermsdorf ist mit einer Ausbaugröße von 26.000 EW deutlich kleiner, fault ihren Schlamm aber auch aus.

In den angegebenen Kläranlagen ohne Faulung kann verfahrenstechnisch kein Faulgas erzeugt werden und damit

auch keine Eigenstromerzeugung erfolgen. Aufgrund der Randbedingungen während der Planungsphase in den 1990-er Jahren mit relativ niedrigen Energiepreisen wurden in diesen Fällen die Investitionskosten minimiert. Durch die ständig ansteigenden Stromkosten könnte sich die Investition in eine Klärschlammfaulung heute rechnen. Das in den siebzehn Kläranlagen noch erschließbare Eigenstrompotenzial würde die heute aus Faulgas bereits erzeugte Strommenge um ca. 30 % erhöhen.

In der Summe wurden durch die Klärgasverstromung in den dreizehn in Betrieb befindlichen Kläranlagen im Jahr 2011 rd. 19.200 MWh (2010: 20.500 MWh) elektrische Energie erzeugt. Mit den offiziellen Zahlen des ThLAfSt ergibt sich für die Stromerzeugung aus Klärgas ein Anteil von knapp 1 % an den erneuerbaren Energien. Abbildung 8 (siehe S. 14) zeigt diesen Wert (rot) im Vergleich zu den anderen erneuerbaren Energieträgern.

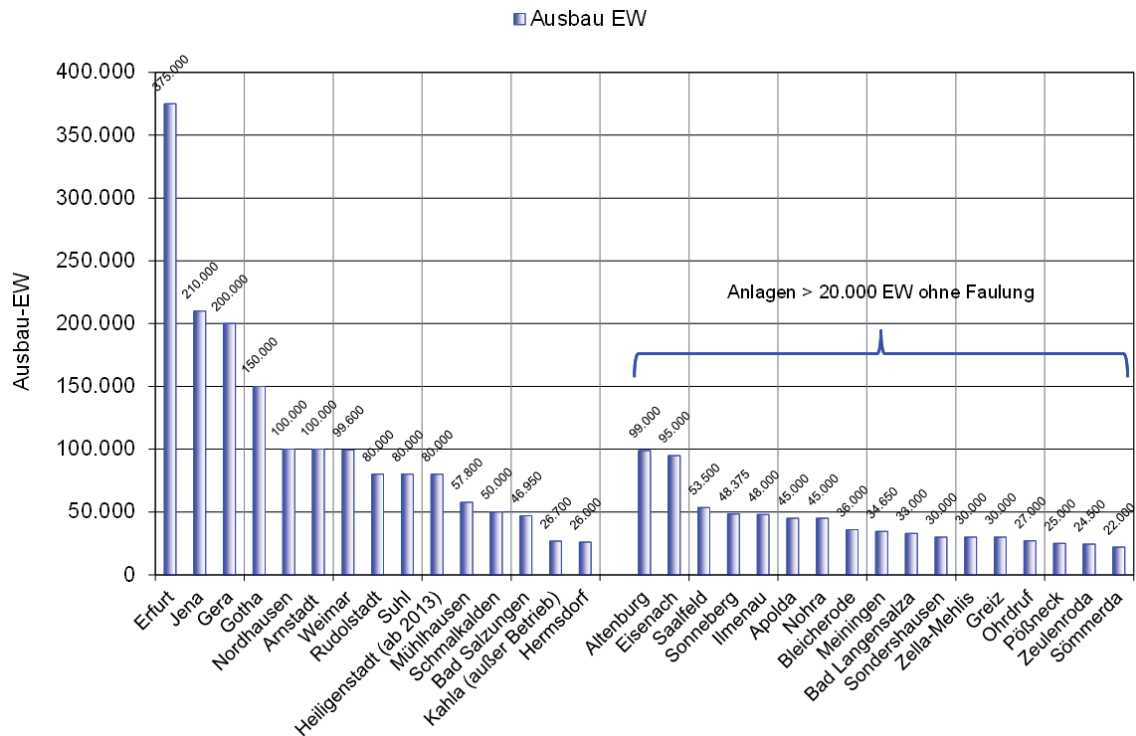


Abbildung 7: Anlagen mit Klärschlammfaulung und > 20.000 EW ohne Faulung

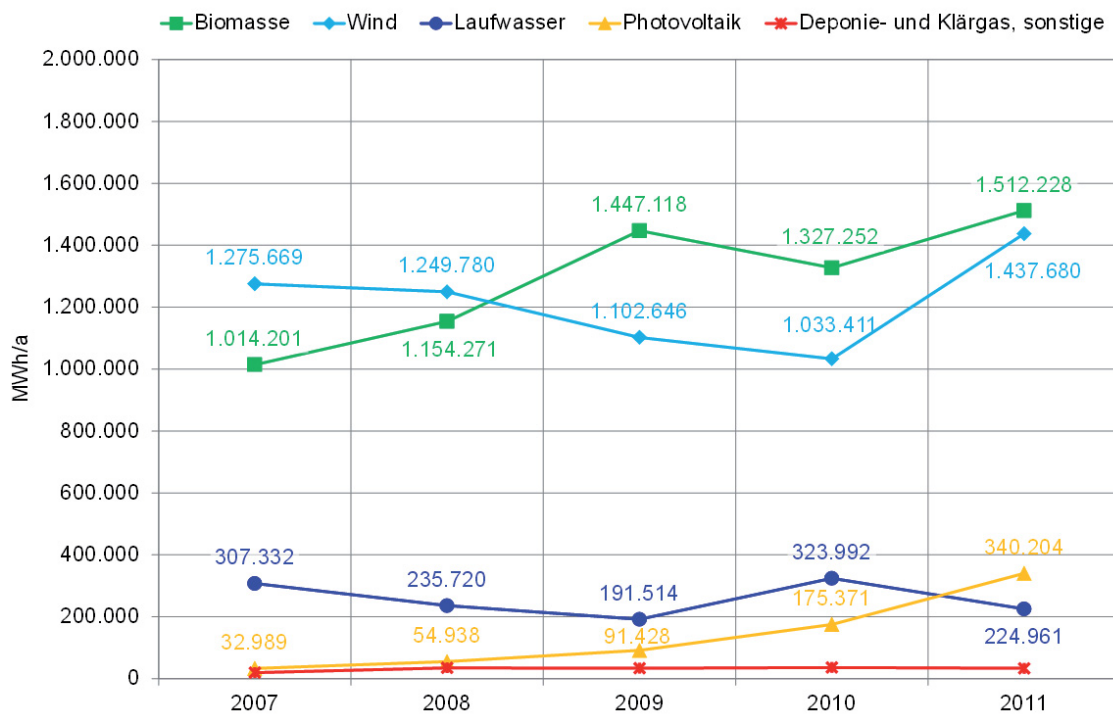


Abbildung 8: Erneuerbare Energien in Thüringen - Einordnung Strom aus Klärgas
Datenquelle: ThLafSt Pressemitteilung 22.11.2012, Darstellung: JuP

Der Anteil „Strom aus Klärgas“ ist aufgrund der Vielzahl von Biomasse- und Windkraftanlagen nur sehr gering. Dennoch entspricht die derzeitige Eigenerzeugung von 19.200 MWh/a in der Größenordnung auch etwa:

- 22 % des Gesamtstromverbrauchs der kommunalen Kläranlagen
- 5 Biogasanlagen mit jeweils 500 kW (Basis Volllast)
- 4 „Windrädern“ mit jeweils 2,5 MW (Basis: 2.000 Volllaststunden)
- 2 „Solarparks“ (Fotovoltaik) mit jeweils 10.000 kWp (Basis: 850 kWh-a/kWp)

Das Grundprinzip der Eigenstromerzeugung ist in Abbildung 9 in Verbindung mit dem Energieeinsatz und -verbrauch schematisch dargestellt.

Das Abwasser bzw. der daraus abgetrennte Primärschlamm und der bei der biologischen Reinigung gebildete Überschussschlamm sind Energieträger. Die eingedickten Schlämme werden in die Faulung gepumpt. Im mesophilen Milieu, d.h. bei rd. 37°C wird der organische Anteil im Schlamm zu etwa 50 % anaerob abgebaut. Es bildet sich energiereiches Faulgas mit einem Methangehalt von rd. 65 %, was einem Heizwert von rd. 6,5 kWh/m³ entspricht. Der aus der Vorklärung abgezogene Primärschlamm ist energiereicher als der Überschussschlamm und enthält rd. 2/3 der Energie.

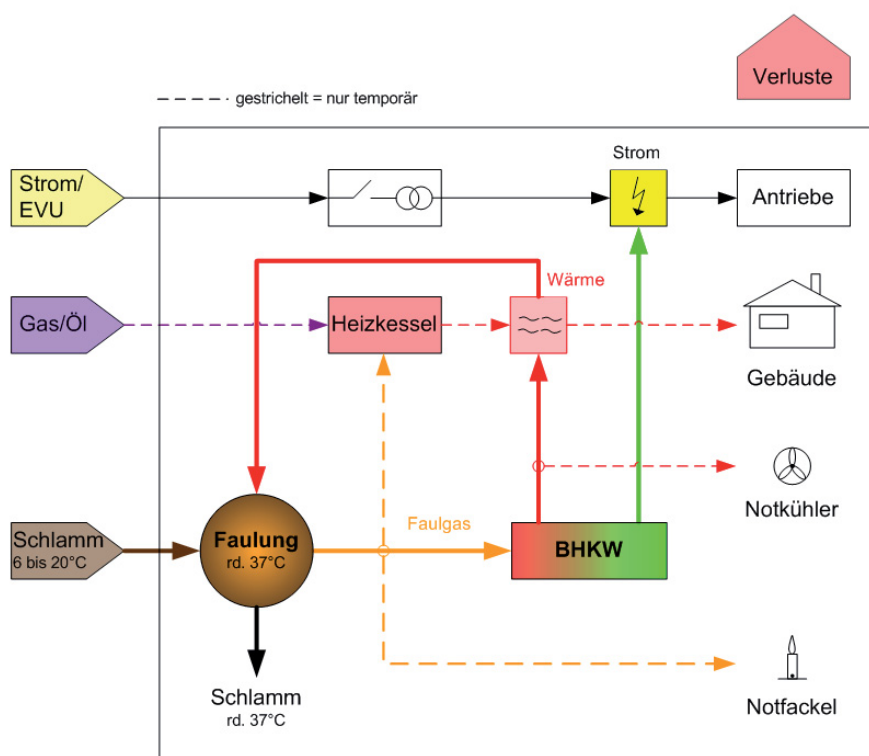


Abbildung 9: Grundprinzip einer Kläranlage mit Eigenstromerzeugung

Im BHKW (Bild 1, S. 16) wird das Faulgas in Strom und Wärme umgewandelt. Etwa 55 % des Energiegehaltes des Faulgases wird mittels Wärmetauschern aus der Motorabwärme und dem Abgas zurückgewonnen. Der Motor treibt einen Generator an, welcher in modernen BHKW etwa 35 % der Faulgasenergie in Strom umwandeln kann. Höhere elektrische Wirkungsgrade um 40 % werden nur in sehr großen BHKW erreicht. Der auf diese Art erzeugte Strom kann unter normalen Betriebsbedingungen mindestens 50 % des Energiebedarfes einer Kläranlage decken.

Um den Primär- und Überschussschlamm bei rd. 37°C auszu-
faulen, muss dieser je nach Jahreszeit (Winter 6°C, Sommer 20°C) um 17 bis 31°C aufgeheizt werden. Die dafür erforderliche Wärme wird i.d.R. ganzjährig durch das BHKW gedeckt. Lediglich bei sehr kaltem Abwasser kann im Winter je nach

Anlagenkonstellation eine zusätzliche Heizung mit Erdgas oder Öl erforderlich sein. Im Sommer erzeugen nahezu alle BHKW mehr Wärme, als für die Aufheizung des Faulschlammes erforderlich ist, so dass es zu einem Wärmeüberschuss kommt. Dieser wird i.d.R. über elektrisch betriebene Notkühler (Tischkühler) an die Umgebungsluft abgegeben.

Optimierungen im Bereich des Wärmemanagements müssen darauf abzielen, die überschüssige Wärme sinnvoll zu nutzen. Jahreszeitlich bedingt fällt die meiste Wärme jedoch in der warmen Jahreszeit an, wenn der allgemeine Heizwärmebedarf minimal ist. Die Abgabe von Wärme zur Heizung und Kühlung bei gewerblichen Verbrauchern in der Nähe könnte eine Option sein. Aufgrund der meist zu großen Entfernungen zwischen Kläranlage und Abnehmer ist diese Lösung wirtschaftlich oft nicht vermittelbar. Hinzu kommt, dass die gewünschte hohe



Bild 1: Blockheizkraftwerk der Kläranlage Schmalkalden
Bildquelle: TLUG Jena

Versorgungssicherheit in der Praxis nur gewährleistet werden kann, wenn eine klassische Versorgungsschiene als Standby Alternative zur Verfügung steht.

Konzeptionell könnte die Wärme auch innerhalb der Kläranlage für neue Prozesse genutzt werden, was in Form einer thermischen Desintegration mit intelligenter Wärmerückgewinnung innerhalb der Schlammbehandlung möglich wäre oder nach der Faulung bei einer technischen oder solar unterstützten Schlammtrocknung.

In allen Fällen ist eine detaillierte Wärmebilanz notwendig. In dieser muss der Wärmebedarf dem möglichen Anfall oder dem nutzbaren Angebot gegenübergestellt werden. Im Rahmen einer Wirtschaftlichkeitsbetrachtung werden die zu erwartenden Jahreskosten der möglichen verfahrenstechnischen Lösungen miteinander verglichen und die in Frage kommende Alternative ausgewählt und im Vergleich zu den heute gegebenen Kosten betrachtet werden. Bei den Jahreskosten sind die Investitionskosten in Form der Abschreibung und Verzinsung sowie die Aufwendungen für die Wartung und Instandhaltung der Anlagen zu berücksichtigen. Hinzu kommen die Betriebsaufwendungen, die durch Personalkosten und die Ausgaben für Hilfsstoffe, Verbrauchsmittel, Energie sowie die Entsorgung des Schlammes bestimmt werden. Einzurechnen sind die möglichen Einsparpotenziale beim Strom (Erzeugung im BHKW mit Verbrauch), bei der Schlammmentwässerung (Polymerverbrauch) und der Entsorgung (Minderung der Mengen).

Wird eine Gesamtbetrachtung angestellt, kann ergänzend zur Wirtschaftlichkeitsbetrachtung auch eine CO₂-Bilanz erstellt werden, bei der alle relevanten Faktoren intern und extern mit eingehen. Berücksichtigt werden dabei u. a. die Art der Wärmeerzeugung, in welcher Form und wo Abwärme zur Verfügung steht und ob diese möglicherweise ungenutzt in die Atmosphäre abgegeben werden muss. Zudem geht auch die Belastung aus dem Transport (Verkehr) mit ein.

Aus dem Wirtschaftlichkeitsvergleich und der CO₂-Bilanzierung ergibt sich in der Summe die Variante, die unter Beachtung aller Randbedingungen für die jeweilige Anlage die optimale Lösung darstellt. In aller Regel ist nicht die wirtschaftlichste Lösung auch die unter ökologischen Gesichtspunkten beste Variante. Bei der Entscheidung sind deshalb auch die Vorgaben und damit die Zielsetzung des Aufgabenträgers mit einzubeziehen.

Der Focus soll an dieser Stelle jedoch zunächst auf die Stromerzeugung gelegt werden. Hierzu wurden entsprechende Daten der Thüringer Kläranlagen erfasst und ausgewertet.

Die absolut erzeugte Eigenstrommenge hängt von der verfügbaren Faulgasmenge und damit von der Größe der Kläranlage ab. Um Kläranlagen untereinander vergleichen zu können, wird als Maßzahl der prozentuale Anteil des erzeugten Eigenstroms am Gesamtstromverbrauch verwendet. Diesen Eigenstromanteil bestimmen folgende Faktoren:

- **Gesamtstromverbrauch**

Je geringer dieser ist, umso höher wird automatisch der Anteil einer (konstanten) Eigenstrommenge. Werden beispielsweise durch Einspar- und Effizienzmaßnahmen innerhalb der Kläranlage 15 % weniger Strom verbraucht, steigt der Eigenanteil bei gleich bleibender Eigenstrommenge allein dadurch um 17,6 % an.

- **spezifischer Gasanfall**

Bei kommunalem Abwasser liegt der Faulgasanfall bei rd. 20 l Gas/EW-d. Das Regime von Schlammabzug, Eindickung und Betrieb der Faulung kann in gewissen Grenzen die Gasausbeute verbessern. Wichtig sind dabei die Faulzeit und die Zusammensetzung des Schlammes.

- **Steigerung des Gasanfalls**

Durch die Annahme von Co-Substraten kann der Gasanfall in der Faulung erhöht werden. Voraussetzung dafür ist, dass entsprechende Reserven in den Faulbehältern gegeben sind. Die zusätzlich erzeugte Gasmenge hängt neben der eingebrachten Menge auch von der Art und Zusammensetzung der bezogenen Fremdsubstrate ab.

- **elektrischer Wirkungsgrad BHKW**

Je höher dieser ist, umso mehr Strom kann pro m³ Gas erzeugt werden. Der elektrische Wirkungsgrad der BHKW ist von der Maschinenleistung abhängig. Kleine BHKW (50 kW_{el}) liegen bei etwa 30 % während große BHKW (500 kW_{el}) bis zu 40 % erreichen. Mit dem durchschnittlichen Methangehalt von 65 % im Klärgas ergibt sich eine spezifische Stromerzeugung von 1,95 bis 2,6 kWh_{el}/m³ Gas. Statt eines BHKW kann auch eine unter Druck betriebene Gasturbine (Bsp. KA Suhl) eingesetzt werden. Sie weist geringere elektrische Wirkungsgrade als BHKW auf, soll aber geringere Wartungskosten haben. Die Praxis wird zeigen, ob sich die Gasturbine am Markt etablieren kann.

- **Wärmemanagement**

Unter Idealbedingungen reicht die Abwärme der BHKW zur Deckung des Wärmebedarfs der Faulung aus. Bei sehr geringen Abwasser- oder Schlammtemperaturen kann zusätzlich ein Heizkesselbetrieb erforderlich sein. Diese Gasmenge steht dann nicht mehr zur Stromerzeugung im BHKW zur Verfügung. Damit ist die Schlamm eindickung und der dabei erzielte Feststoffgehalt wesentlich für den Anteil der Stromerzeugung. Muss weniger Wasser aufgewärmt werden, ist ein Heizkesselbetrieb dann i. d. R. nicht mehr notwendig.

Aus den Daten der Eigenkontrollberichte sowie den Angaben, die sich zu einzelnen Daten auf gezieltes Nachfragen noch ergeben haben, wurden die spezifische Gaserzeugung, die spezifische Stromerzeugung und der Eigenstromanteil der Thüringer Kläranlagen mit Faulung ermittelt. In Abbildung 10 und 11 sind diese Werte für das Betriebsjahr 2011 grafisch dargestellt. Mit eingetragen ist auch der spezifische Stromverbrauch dieser Anlagen.

Voraussetzung für die korrekte Ermittlung des spezifischen Gasanfalls ist eine zuverlässige und genaue Messung der Gasmengen sowie eine exakte Erfassung der angeschlossenen Einwohnerwerte (EW). Bei der Gasmengenmessung sind aufgrund des physikalischen Verfahrens die in der Praxis vorhandenen Einflussfaktoren (Temperatur, Druck, Feuchte) zu beachten. In der Summe bewegen sich die Ergebnisse aus den Thüringer Kläranlagen im Bereich der Erfahrungswerte.

Der errechnete spezifische Gasanfall liegt im Mittel bei 17,5 l Gas/EW-d (orangefarbene Balken) und schwankt zwischen 11 und 27 l Gas/EW-d. Die Extremwerte der KA Gera (50,6) und der KA Schmalkalden (6,0) wurden hierbei ausgeklammert. In der KA Gera werden in größerem Umfang Co-Substrate in die Faulung eingebracht. Der Faulturm der KA Schmalkalden wurde über 4 Monate saniert und neu angefahren, so dass in dieser Zeit kein Faulgas zur Verfügung stand. Im Jahr 2010 wurden in Schmalkalden ca. 11 l Gas/EW-d erzeugt.

In der KA Rudolstadt werden auch Co-Substrate, allerdings in kleinen Mengen angenommen, so dass deren Anteil den einwohnerspezifischen Gasanfall nicht wesentlich beeinflusst. Die KA Jena erreicht mit 11 l Gas/EW-d einen geringen Wert, weil die Faulzeit zu knapp ist. Dies ergibt sich aus dem Umstand, dass der Anschlussgrad und die biologischen Stufe um rd. 40 % erweitert wurden, nicht jedoch die Faulung. Damit führt die höhere Schlammmenge zu einer kürzeren Faulzeit. Im Jahr 2013 soll die KA Jena um einen dritten Faulturm erweitert werden, so dass durch die längere Faulzeit noch mehr Gas und damit Strom erzeugt werden kann.

Bei der spezifischen Stromerzeugung (Abbildung 10, S.18-blaue Balken) werden mit den vorhandenen Aggregaten Werte von maximal 2,2 kWh/m³ Gas erreicht (KA Jena), was eine effiziente Prozessführung und einen hohen elektrischen Wirkungsgrad des BHKW voraussetzt. Die spezifischen Werte in der KA Erfurt basieren teilweise auf Annahmen, da durch umfangreiche Umbauten an der Gasverwertung die Gasmenge zeitweise nicht gemessen werden konnte. Im Jahr zuvor wurden 1,49 kWh/m³ Faulgas erreicht.

Die Anlagen liegen praktisch alle in einem Bereich zwischen 1,5 und 2,0 kWh_{el}/m³ Gas. Bei einem mittleren Methangehalt von 65 % bewegen sich damit die in der Praxis erreichten elektrischen Wirkungsgrade der BHKW rechnerisch zwischen 23 % und 30 %. Die Gründe für die geringen Wirkungsgrade können sein:

- Mehrere BHKW werden in Abhängigkeit von der anfallenden Gasmenge leistungsgeregelt betrieben. Mit geringerer Drehzahl vermindert sich auch der Wirkungsgrad eines BHKW.
- Die Gasmengenmessung ist fehlerbehaftet und ergibt bei zu hohen Mengen für die anfallenden Faulgasmengen rechnerisch geringere spezifische Werte bei der Stromerzeugung.

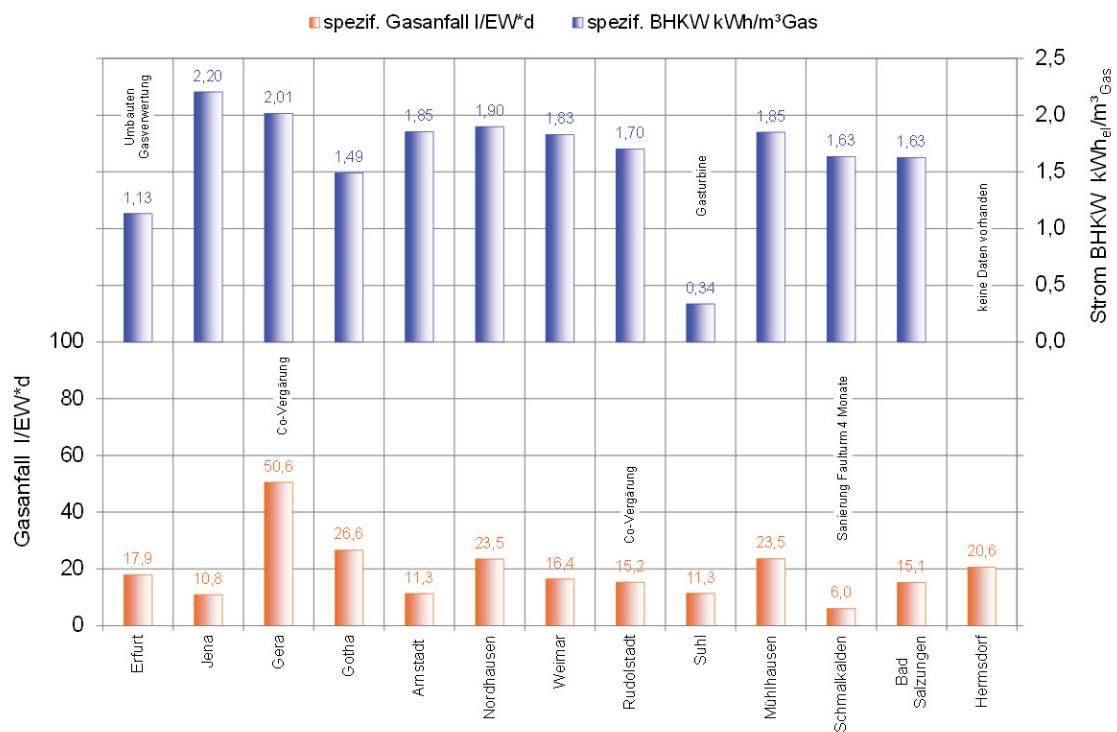


Abbildung 10: Spezifischer Gasanfall und spezifische Stromerzeugung 2011

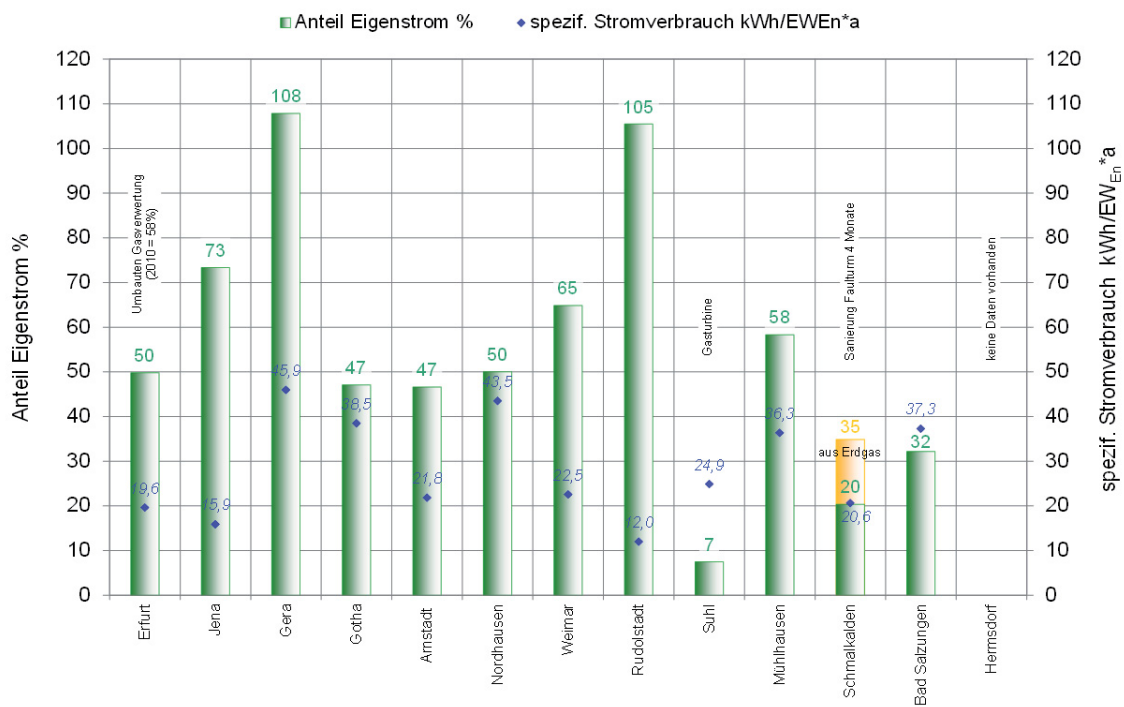


Abbildung 11: Prozentualer Eigenstromanteil 2011

- Der Methangehalt des Faulgases ist geringer als bei der Berechnung angenommen.
- Der Eigenverbrauch oder Verlust des BHKW ist höher und damit auch der Unterschied zwischen der Brutto- und Nettoerzeugung.
- Die Zuordnung der Gasmenge zur erzeugten Strommenge ist fehlerhaft. Da zeitweise ein Teil des Klärgases direkt zur Heizung abgeführt (Spitzenlast) oder während einer BHKW-Störung oder Wartung abgepackelt wird, darf nur die „Gasmenge zum BHKW“ für den spezifischen Wert verwendet werden und nicht die gesamte Gasmenge. In der Datenerfassung der Eigenkontrollberichte ist diese Unterteilung jedoch nicht vorhanden. Eine detailliertere Abfrage der Daten würde zu genaueren (und vermutlich etwas höheren) Werten führen.

Unter Berücksichtigung der geschilderten Einflussfaktoren und Abhängigkeiten errechnet sich der in Abbildung 11 auf S.18 angegebene Eigenstromanteil (grüne Balken). Er beträgt i.d.R. mehr als 50%. Bei zwei Anlagen wird mit

einem Eigenanteil von >100% bilanziell Energieautarkie erreicht. Dieser ist in kommunalen Kläranlagen nur möglich, wenn in größerem Umfang Co-Substrate angenommen und anaerob verwertet werden (KA Gera) oder bereits ein sehr geringer Gesamtstromverbrauch vorhanden ist (KA Rudolstadt), der bei (vergleichbarer) Eigenstromerzeugung einen höheren prozentualen Eigenstromanteil ergibt.

Die Kläranlage Rudolstadt hat mit 12 kWh/ EW_{En} den geringsten spezifischen Stromverbrauch der betrachteten Kläranlagen. Es sind auch Anlagen dabei, die um oder mehr als 40 kWh/ EW_{En} benötigen. Im Einzelfall müssen Randbedingungen vorliegen, die den angegebenen Verbrauch bedingen. Sie sind aus den vorliegenden Daten und Informationen nicht ableitbar.

Auch in der Kläranlage Jena wird versucht, die energieautarke Kläranlage bis 2014 zu realisieren. Dort werden gezielt Energieeffizienzmaßnahmen umgesetzt. Dabei wird der Betreiber durch das Bundesumweltministerium im Rahmen des Förderschwerpunktes im Umweltinnovationsprogramm „Energieeffiziente Abwasseranlagen“ unterstützt.

7 Potenziale im Bereich Stromverbrauch und Eigenstrom

Nach der Bestandsaufnahme des Energieverbrauchs und dessen Auswertung mit Angabe spezifischer Energiezahlen für die Thüringer Kläranlagen stellt sich die Frage, welches Potenzial zur Verminderung des Verbrauchs und zur Erhöhung der Eigenstromerzeugung vorhanden ist. Die wesentlichen Erkenntnisse hierzu sind nachfolgend zusammengestellt.

7.1 Verminderung des Stromverbrauchs

Die Bestandsbewertung ergab insbesondere bei den kleineren Kläranlagen zu hohe Energieverbräuche. Wird für jede Kläranlage oberhalb des Richtwertes die Differenz zum Richtwert ermittelt, ergibt sich ein theoretisch vorhandenes Einsparpotenzial. Für Kläranlagen ohne Angabe des Stromverbrauches wird deren Verbrauch aus der Trendlinie abgeschätzt. Unter dieser Prämisse könnte demnach insgesamt der Stromverbrauch um rd. 14.500 MWh/a vermindert werden. Dies entspricht:

- etwa 17% des Gesamtverbrauches aller kommunaler Kläranlagen
- nahezu dem jährlichen Haushaltsstromverbrauch von 10.000 Einwohnern
- der Leistung von 3 Biogasanlagen mit jeweils 500 kW (Basis Volllast)
oder 3 "Windrädern" mit jeweils 2,5 MW (Basis: 2.000 Volllaststunden)
oder 2 "Solarparks" (Fotovoltaik) mit jeweils 10.000 kWp (Basis: 850 kWh/kWp-a)

Ob der Stromverbrauch in einer Kläranlage tatsächlich vermindert werden kann, ist im Einzelfall zu prüfen. Örtliche Randbedingungen können zu einem spezifisch höheren Verbrauch führen, der nicht ohne weiteres gesenkt werden kann.

In mehreren Veröffentlichungen (siehe Literatur 1. - 7.) sind eine Vielzahl von Beispielen zusammengestellt, wie der Stromverbrauch auf Kläranlagen vermindert werden kann. Schwerpunkte bilden dabei große Kläranlagen, weil deren Anteil am gesamten Stromverbrauch am größten ist.

Mögliche Lösungsansätze zur Verminderung des Energie- bzw. Stromverbrauches beziehen sich auf folgende Punkte:

- betriebliche / verfahrenstechnische Maßnahmen
z.B. optimale Sauerstoff- oder TS-Gehalte und Rücklaufverhältnisse, Verringerung der Druckverluste durch Säuern der Belüfter, Kondensatablass aus den Luftleitungen
- Erweiterung / Optimierung der Automatisierungs-/Regelungstechnik
z.B. Nutzung von Frequenzumrichtern oder Verminderung der Laufzeiten von Rührwerken oder Lüftern durch Zeit- oder Betrieb/Pause-Steuerung
- Einsatz effizienter Aggregate
z.B. neue Gebläse, Belüfterelemente und Pumpen, die weniger Energie pro Einheit verbrauchen bzw. benötigen als die vorhandenen Aggregate und Einbauten

- Planerische / bautechnische Maßnahmen
z.B. Vermeidung von Höhenverlusten, Verwendung widerstandsarmer Armaturen, bei Neubauten energieoptimierte Verfahren anwenden
- Perspektivisch
Einsatz alternativer Verfahren, wie z. B. die Deammonifikation bei der Behandlung interner Rückbelastungen aus der Schlammbehandlung (Stabilität des Verfahrens im Hinblick auf die Ablaufanforderungen beachten).

Bei allen in Frage kommenden technischen Verbesserungen mit denen eine Energieeinsparung verbunden ist, muss die Frage der Wirtschaftlichkeit gesondert geprüft werden. Oft ist z.B. ein Austausch vorhandener Komponenten betriebswirtschaftlich nicht begründbar.

Um Strom einsparen zu können, muss man den Verbrauch und die betrieblichen Randbedingungen der maßgeblichen Verbraucher kennen. Mit einem Energiecheck ist dies möglich. Dabei wird u.a. eine Liste mit Leistung und Laufzeit aller Aggregate erstellt. Aus Leistung und Laufzeit kann mit den Informationen am Typenschild der Verbrauch berechnet werden. Zuverlässiger sind Leistungsmessungen an jedem Verbraucher. Erwartungsgemäß sind die leistungsstärksten Maschinen wie Gebläse und Rücklaufschlamm-Pumpen auch die Hauptverbraucher. Aber auch Rührwerke mit kleiner Leistung können wegen der Dauerläuferfunktion zu den größten Verbrauchern gehören. Erfahrungsgemäß gibt es in jeder Kläranlage eine Vielzahl von Kleinverbrauchern, die in der Summe 25 % des gesamten Energieverbrauches verursachen. Bei diesen besteht i. d. R. nur ein begrenztes Einsparpotenzial.

Nach /1/ gibt es verschiedene Kennwerte, um den Verbrauch einzelner Aggregate zu überprüfen. Dazu gehören einwohnerspezifische Stromverbräuche je Verfahrensschritt oder Aggregat, z.B. 10 kWh/EW_{En}·a für die Belüftung, leistungsbezogene Größen wie Watt pro m³ Becken bei Rührwerken oder mengenspezifisch bei Pumpen in kWh/m³·m Förderhöhe. Der Vergleich dieser Kennwerte mit den Ist-Werten der eigenen Anlage gibt Aufschluss über das mögliche Einsparpotenzial.

In einem ersten Schritt sollten die betrieblichen und verfahrenstechnischen Maßnahmen auf mögliche Energieeinsparungen untersucht werden. Hierzu gehören:

- Sauerstoffeintrag Belebung
Prüfung von: Solldruck Luftleitung, Druckverlust Belüfter, Laufzeit Gebläse, Sollwert Sauerstoffgehalt, Regelstrategie?
- Rücklaufschlamm
Passt die eingestellte Menge? Ist ein Frequenzumrichter sinnvoll? Regelstrategie?

- Rührwerke
Ist Betrieb/Pause möglich? Sind neue Langsamläufer mit kleineren Motoren sinnvoll? Kann eine kleinere Drehzahl eingestellt werden?
- Sonstige Verbraucher
detektieren, ob Laufzeiten vermindert werden können, z. B. Rührwerke, Heizungen.

Nachfolgend ein Beispiel für hohe Stromverbräuche, die erst in zweiter Linie mit der Abwasserreinigung zusammenhängen: Bei Frostschutzheizungen kann ein kleiner Betriebsraum 1,0 kW x 24 h x 180 Tage = 4.320 kWh/a verbrauchen. Dies führt bei einer Anlagengröße von 500 EW_{En} bereits zu rd. 8,6 kWh/EW_{En}·a, die nur "verheizt" werden. Bezogen auf einen Gesamtverbrauch von 50 kWh/EW_{En}·a einer 500 EW-Anlage wären dies bereits 17 %.

In vielen Kläranlagen ist es nicht möglich, den Energieverbrauch einzelnen Einheiten oder Bereichen zuzuordnen, weil keine Unterstromzähler vorhanden sind. Die Variante aus erfassten Messwerten Maßnahmen abzuleiten scheitert dadurch im Einzelfall oftmals an den fehlenden technischen Möglichkeiten. Es müssen zuerst geeignete Erfassungsmöglichkeiten installiert werden.

Diese Randbedingungen sind mit zu beachten, wenn landesweit detailliertere Daten zum Strombezug und der Eigenstromerzeugung erhoben werden, bzw. diese von den Betreibern zu erfassen sind. Eine Sensibilisierung des Betriebspersonals in den Kläranlagen, wie auch der technischen Betriebsleitung ist notwendig.

7.2 Steigerung der Eigenstromerzeugung

In derzeit vierzehn Kläranlagen oder der Hälfte der Ausbaukapazität Thüringer Kläranlagen ist die Infrastruktur für eine Eigenstromerzeugung vorhanden. Auch wenn der Anteil "Strom aus Klärgas" innerhalb der erneuerbaren Energien in Thüringen 2011 im 1 %-Bereich lag, wird damit der Verbrauch fossiler Brennstoffe und somit CO₂ vermindert. Eine Steigerung der Stromerzeugung aus Klärgas kann erfolgen durch:

- Ausreizung der innerbetrieblichen Optimierung im Bereich Schlamm / Faulung
- Desintegration des Klärschlammes für eine bessere Gasausbeute
- Co-Vergärung zusätzlich eingebrachter Substrate
- Effizientere BHKW mit höherem elektrischen Wirkungsgrad einsetzen
- Schlammfäulung mit Gasverwertung in allen Kläranlagen >40.000 EW umsetzen

Ist das betrieblich mögliche Verbesserungspotenzial (spezifische Ausbeute) ausgereizt, kann der Gasanfall und damit auch die Stromerzeugung nur noch dadurch wesentlich gesteigert werden, wenn zusätzlich Substrate zur Co-Vergärung mit in die Faulung eingebracht werden. Die Bestandserhebung zeigt dies eindrucksvoll am Beispiel der Kläranlage Gera. Nicht alle Anlagen sind jedoch dafür geeignet (siehe Literatur 8.). Eine Abschätzung der Erträge durch eine mögliche Co-Vergärung hängt in erster Linie von den verwertbaren Produkten und deren Mengen ab. Da als Abnehmer auch die landwirtschaftlichen Biogasanlagen in Betracht kommen, greifen marktwirtschaftliche Randbedingungen durch Angebot und Nachfrage. Da eine dauerhafte Einbringung der Co-Substrate angestrebt wird, müssen diese auch durchgängig verfügbar sein. Der Zukauf spezieller Produkte kommt auch in Frage, sofern dies betriebswirtschaftlich sinnvoll ist.

Würde die Gas- und damit Stromerzeugung in den bestehenden Faulgasanlagen im Mittel **um 20 %** gesteigert, was durchaus realistisch wäre, würden rd. **2.800 MWh Strom** pro Jahr mehr erzeugt. (Basis: 85 % Anschluss, 20 l Gas/EW·d = 7,3 m³/EW·a, BHKW = 2,0 kWh_{el}/m³ = 14,6 kWh_{el} erzeugt/EW·a x 0,2 = 2,92 kWh/EW·a). Diese Erhöhung könnte durch betriebliche Optimierungen und/oder den Einsatz entsprechender Co-Substrate erreicht werden. Ob letztere in entsprechender Qualität und Menge dauerhaft verfügbar sind und damit diese Menge erreicht werden kann, ist offen.

Anlagen zur Desintegration mittels Ultraschall oder mechanischen Homogenisatoren haben sich trotz langjähriger Marktpräsenz bisher nicht durchgesetzt. Der Erhöhung der Gasausbeute und Verminderung des Schlammanfalls stehen Aufwendungen für die Energie, die Flockungshilfsmittel und ggf. auch Personal entgegen. Interessanter wird die Desintegration, wenn überschüssige Abwärme für eine thermische Desintegration verwendet werden kann. In jedem Fall muss mit Vorversuchen die Wirtschaftlichkeit nachgewiesen werden.

Dass im Zuge von Erneuerungen oder Neubauten effizientere BHKW eingesetzt werden, ist quasi ein Automatismus. Langfristig könnten Brennstoffzellen eine Alternative sein. Sie erreichen höhere elektrische Wirkungsgrade, sind jedoch teuer und in der erforderlichen Gasreinigung aufwändiger. Derzeit treten bei den mit Faulgas beschickten Brennstoffzellen massive betriebliche Probleme auf, die bislang noch nicht zufriedenstellend behoben werden konnten.

Für alle Anlagen mit Faulung gilt jedoch zuerst, dass die innerbetrieblich möglichen Optimierungsmaßnahmen vollständig ausgereizt werden müssen, damit ein hoher Eigenstromanteil erreicht wird. Dies betrifft vor allem folgende Punkte:

- Primärschlammabzug nach dem tatsächlichen Anfall steuern
- weitgehende Eindickung von Primär- und Überschussschlamm, damit der in die Faulung eingebrachte

Wasseranteil minimiert wird (Faulzeit größer / Aufheizung geringer)

- Spitzen beim Schlammanfall abpuffern
- Faulung gleichmäßig beschicken
- TS-Gehalt / Schlammalter Belebung optimieren und jahreszeitliche Unterschiede beachten

Neuere Überlegungen gehen dahin, die Abwärme des ausgefaulten Schlammes (rd. 37°C) oder des Filtrates in Wärmetauschern zur Vorwärmung des Schlammes zu nutzen. Wird der Schlamm benutzt, kann sich die Temperaturabnahme auf die Schlammmentwässerung auswirken. Kälterer Schlamm ergibt etwas geringere Feststoffgehalte. Deshalb müssen derartige Veränderungen gesamtwirtschaftlich betrachtet werden. Dies führt i. d. R. zu einer erweiterten Energiebilanz bezüglich der gesamten Schlammsschiene unter Einbeziehung thermischer Desintegrationsverfahren.

7.3 Nutzung brach liegender Potenziale

Verbesserungen wurden bzw. werden in den bestehenden Schlammfäulungen durch folgende Maßnahmen erreicht: Im Jahr 2011 wurde erstmalig auf der KA Suhl eine Klärgasverstromung installiert. Bisher wurde das anfallende Gas lediglich thermisch für die Heizung der Faulung und des Betriebsgebäudes genutzt. Ebenfalls 2011 ging im Sommer die Faulung und das BHKW in der KA Bad Salzungen in Betrieb. In 2013 erfolgt die Inbetriebnahme der Faulung und des BHKW der erweiterten Kläranlage Heiligenstadt, die wegen der Ansiedlung eines großen Fleisch verarbeitenden Betriebes erweitert wird. Mit den genannten Maßnahmen werden in den folgenden Jahren bei der Auswertung höhere Eigenstrommengen in den Thüringer Kläranlagen erzeugt.

Unter dem Gesichtspunkt höherer Eigenstromanteile ist die Frage von Bedeutung, wie viel Gas und damit erneuerbare Energie in den aeroben Stabilisierungsanlagen >20.000 EW erzeugt werden könnte, wenn diese Anlagen nachträglich eine Faulung bauen und damit den Schlamm anaerob stabilisieren würden. Dies betrifft in Thüringen die in Abbildung 7 dargestellten 17 Kläranlagen mit einer gesamten EW-Ausbaugröße von ca. 726.000 EW. Wären die Anlagen zu 85 % ausgelastet und würden 20 l Gas/EW·d in der Faulung erzeugen sowie das BHKW insgesamt 2,0 kWh_{el}/m³ Gas liefern, könnte in der Summe eine Strommenge von rd. **9.000 MWh/a** erzeugt werden.

Um diese Kläranlagen von der aeroben auf die anaerobe Schlammstabilisierung umzustellen, bedarf es größerer Investitionen, weil neben den Faulbehältern und BHKW's auch eine mechanische Stufe mit den zugehörigen verfahrens- sowie EMSR-technischen Anpassungen integriert werden muss. Für die Betreiber stellen sich damit folgende Fragen:

- Können die notwendigen Anlagen in den Bestand integriert werden?
- Wie hoch sind die dafür notwendigen Investitionen?
- Ist die Investition unter betriebswirtschaftlichen Gesichtspunkten sinnvoll?

In der Abwassertechnik war und ist die Wirtschaftlichkeit einer Faulung immer wieder Thema. Häufig wird eine EW-Ausbaugröße angegeben, ab der sich der Bau und der Betrieb einer Faulung wirtschaftlich rechnen. Diese Zahl ist im Laufe der vergangenen Jahre immer weiter gesunken. Mittlerweile liegt diese Zahl je nach Veröffentlichung und Berechnungsansätzen bei weniger als 20.000 Einwohnerwerten, wobei die Ergebnisse stark von den angesetzten Energiepreisen sowie deren Steigerung abhängen. Darüber hinaus sind die

Entsorgungspreise von größerer Bedeutung, da ein ausgefallter Schlamm i.d.R. höhere Feststoffgehalte bei der Entwässerung erreicht als ein aerob stabilisierter Schlamm. Damit vermindert sich die zu entsorgende Klärschlammmenge und damit die dafür entstehenden Kosten.

Für die Umrüstung bestehender aerober Stabilisierungsanlagen auf den Betrieb der Anlage mit einer Faulung des Schlammes sind die in der Tabelle aufgeführten Bauwerke mit den zugehörigen Einrichtungen erforderlich. Im Dezember 2011 veröffentlichte Zahlen (siehe Literatur 11.) ergänzt um eigene Ansätze führen zu den angegebenen spezifischen Kosten. Da die Baukosten mit zunehmender Größe der Bauwerke spezifisch günstiger werden, sind die Kosten nicht konstant sondern abhängig von der EW-Ausbaugröße (Kostenfunktion). Dargestellt sind die Investitionskosten für eine Kläranlage mit einer Ausbaugröße von 30.000 EW.

Tabelle 1: Investitionsaufwand - Nachrüstung einer Faulung - KA 30.000 EW

Bauwerk / Ausrüstung / EMSR	spezifisch	absolut (gerundet)
Vorklärung	10 €/EW	300.000 €
Faulbehälter Zwischenpumpwerk Rohschlamm-speicher Maschinelle Voreindickung Gasspeicher, Fackel BHKW	35 €/EW	1.050.000 €
Sonstige Einrichtungen	15 €/EW	450.000 €
Infrastruktur Rohrleitungen, Verkehrsflächen, EMSR, Sonstiges	10 €/EW	300.000 €
Planungsleistungen einschl. Nebenkosten	8 €/EW	240.000 €
Summe	78 €/EW	2.340.000 €

Im dargestellten Beispiel ergeben sich für die 30.000 EW große Kläranlage und der Annahme günstiger Randbedingungen für die Integration einer Faulung einschließlich der zugehörigen Einrichtungen sowie Planungskosten ein Investitionsaufwand von annähernd rd. 78€/EW oder 2,34 Mio€. Wird der in /11/ angegebene Verlauf der spezifischen Aufwendungen in Abhängigkeit von der Anlagengröße übernommen, führt dies unter Berücksichtigung der möglichen Bandbreite bei der Realisierung zu dem in der Abbildung angegebenen Kostenbereich.

Bei Kläranlagen >50.000 EW wird die Wirtschaftlichkeit einer Faulung grundsätzlich als gegeben angenommen. Aus dem Kurvenverlauf kann abgeleitet werden, dass sich die Investitionskosten bei einer Verfahrensumstellung und Einbindung einer Faulung mit Gasverwertung im Bereich um 120€/EW (KA mit 17.500 EW) und 60€/EW (KA mit 50.000 EW) bewegen (siehe Abbildung 12).

Die Investitionskosten können nach LAWA-Methode in Kapitalkosten bzw. Jahreskosten umgerechnet werden. Diesen werden die Betriebskostenvorteile (Eigenstrom, geringere Entsorgungskosten) aber auch die zusätzlichen Aufwendungen (Mehrverbrauch und Instandhaltung der zusätzlichen Anlagenteile, Personal) gegenübergestellt.

Am Kurvenschnittpunkt der Abbildung 13 wird deutlich, dass ab einer Ausbaugröße von 20.000 Einwohnerwerten die Betriebskosteneinsparungen überwiegen und damit eine Investition in eine Faulung wirtschaftlich ist. Der Schnittpunkt verschiebt sich zu noch kleineren Anlagen, wenn die Kosten für den Energiebezug zukünftig noch weiter steigen werden.

Mit einer Sensitivitätsanalyse wurde in /11/ die Auswirkung verschiedener Preissteigerungen bei der aeroben Stabilisierung und bei den Anlagen mit einer Faulung ermittelt. Bereits bei einer Preissteigerungsrate von 2% wäre die Umstellung auf eine Faulung bei Kläranlagen ab 15.000 EW interessant. Da

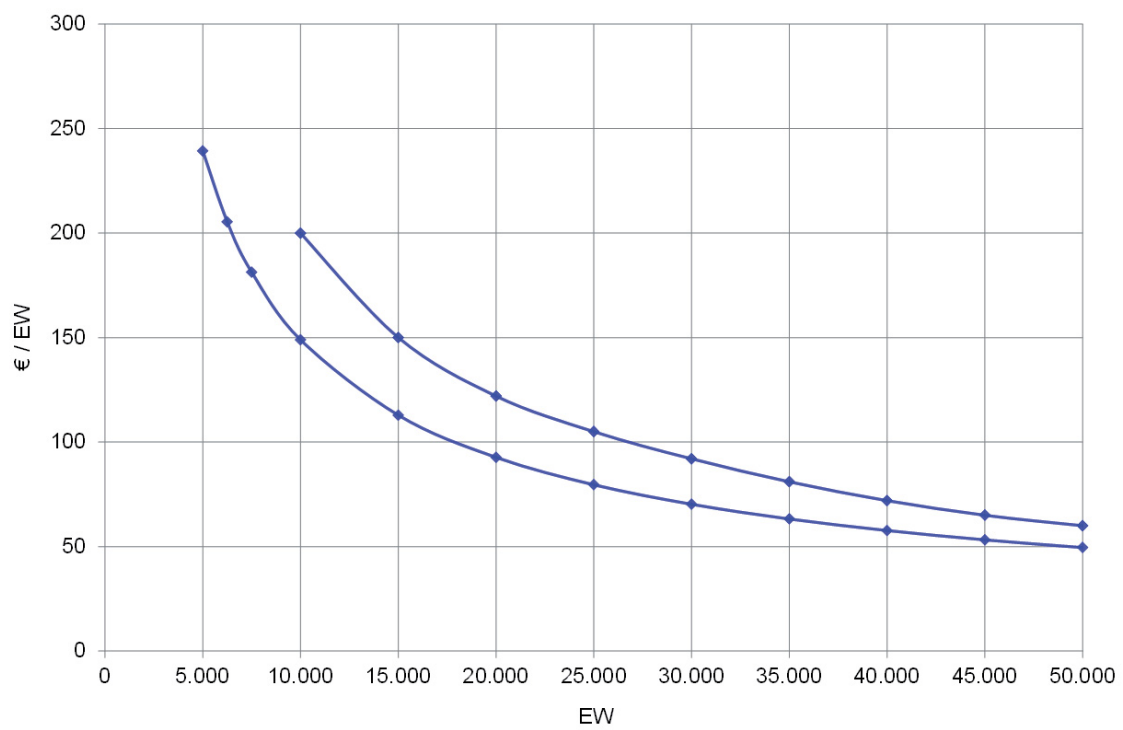


Abbildung 12: Spezifische Gesamtinvestitionskosten bei einer nachträglichen Integration einer Anlage zur Schlammfaulung und Gasverwertung

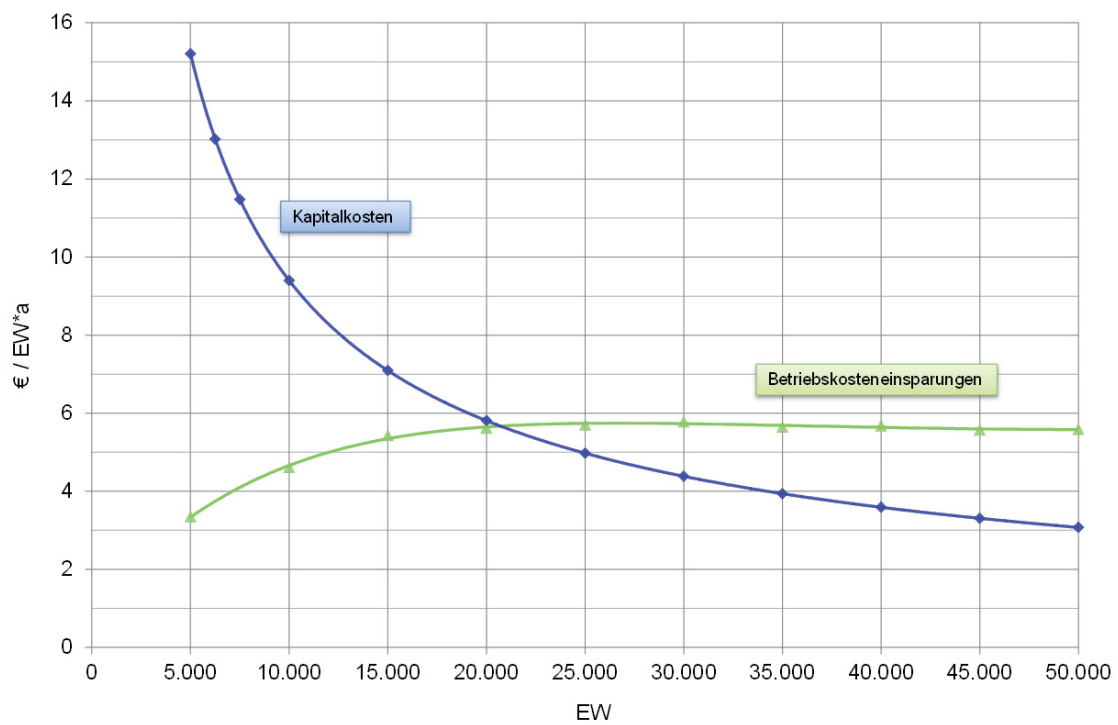


Abbildung 13: Vergleich der Betriebskosteneinsparungen und der Kapitalkosten bei der Umstellung auf anaerobe Stabilisierung nach /11/, /12/

sich die Strombezugskosten in den letzten Jahren um rd. 5 bis 7% verteuert haben, verschiebt sich die Wirtschaftlichkeitsgrenze zu noch kleineren Kläranlagen. Der in der Praxis zu verzeichnende Streubereich bei den Investitionsaufwendungen darf dabei aber nicht außer Acht gelassen werden.

Die Betreiber der in Thüringen derzeit noch mit einer aeroben Stabilisierung betriebenen Kläranlagen und Anschlussgrößen über 20.000 EW sollten abklären, inwieweit sich eine Umstellung auf eine anaerobe Stabilisierung mittel- und langfristig betriebswirtschaftlich nicht doch lohnen könnte. Der erreichbare Eigenstromanteil liegt unter normalen Bedingungen bei mindestens 50%, d.h. um diesen Anteil vermindern sich die Kosten für den Strombezug. Vor dem

8 Zusammenfassung

Kläranlagen verbrauchen bei der Abwasserreinigung und Schlammbehandlung Energie. Wie dieser Verbrauch im Einzelfall zu beurteilen ist, kann anhand spezifischer Verbrauchswerte bestimmt werden. Damit vergleichende Betrachtungen möglich sind, wurden von der DWA (Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V.) spezifische Stromverbrauchswerte definiert, die sich auf die Bezugsgröße Einwohnerwert Energie (EW_{En}) beziehen. Die Bezugsgröße EW_{En} wird aus der mittleren Fracht des chemischen Sauerstoffbedarfs im Rohabwasser (CSB = Maß für die organische Belastung) geteilt durch 120 g CSB/EW berechnet und für den Vergleich mit anderen Kläranlagen verwendet. Unterstellt wird dabei, dass über den CSB automatisch auch andere für den Stromverbrauch noch relevante Belastungen (insbesondere Stickstoff) mit abgedeckt sind.

Aus der Anschlussgröße und dem spezifischen Stromverbrauch ergibt sich der Gesamtbedarf der Kläranlage. Er ist umso geringer, je näher der spezifische Stromverbrauch den Idealwerten kommt, die unter Berücksichtigung optimaler verfahrenstechnischer, betrieblicher und maschinentechnischer Randbedingungen in der Praxis erreichbar sind.

Dem Idealwert nahe zu kommen ist immer anzustreben, weil der stetige Anstieg der Energiepreise dadurch teilweise aufgefangen werden kann. Darüber hinaus verbessert jede nicht verbrauchte Kilowattstunde die Ökobilanz und wirkt sich bezüglich der das Klima beeinflussenden Faktoren (CO_2) positiv aus.

Da in der Kläranlage energiereicher Schlamm in der mechanischen und biologischen Reinigungsstufe anfällt, kann dieser bei einer anaeroben Stabilisierung Faulgas bilden, das energetisch im Blockheizkraftwerk verwertet Wärme und Strom erzeugt. Die elektrische Energie kann direkt zum Betrieb der Aggregate innerhalb der Kläranlage verwendet werden. Unter normalen Betriebsbedingungen können dadurch zwischen 50% und 60% des gesamten Strombedarfs der Kläranlage

Hintergrund steigender Strompreise und einer Förderung der Investitionskosten für BHKW's nach dem KWKG-Gesetz sollten umfassendere Überlegungen unter Einbeziehung neuer Konzepte zur Schlammbehandlung und dessen Entsorgung in allen Anlagen angestellt werden.

Die Betreiber mittlerer und kleiner Anlagen können unter Berücksichtigung der aktuell noch möglichen Förderung beispielsweise auch durch Photovoltaik-Anlagen (PV) einen kleinen Beitrag zur Eigenstromerzeugung leisten. Kläranlagen haben durch die vorhandene Infrastruktur (Fläche, elektrotechnische Anbindung, Umzäunung) günstige Voraussetzungen für derartige Anlagen. Die Investition kann auch durch Dritte bzw. Betreibermodelle erfolgen.

eigenständig gedeckt werden. Höhere Deckungsgrade erfordern weitergehende betriebliche Maßnahmen (Verminderung Energieverbrauch, Verbesserung der Gasausbeute) und den Einsatz von Co-Substraten, die als Abfallprodukte in Gewerbe / Industrie und Landwirtschaft anfallen oder speziell für die Biogasproduktion hergestellt werden.

Die Wärme wird zur Aufheizung des Schlammes und zur Gebäudeheizung verwendet. In der warmen Jahreszeit ist ein Wärmeüberschuss vorhanden, der gezielt vernichtet werden muss, wenn keine Abnehmer vorhanden sind. Eine optimale Verwertung der Wärme wäre innerhalb der Kläranlage möglich, erfordert aber weiterführende Konzepte bei der Schlammbehandlung unter Einbeziehung von z.B. der thermischen Desintegration und der Schlamm Trocknung. Entsprechende Überlegungen mit den zugehörigen technischen und wirtschaftlichen Abklärungen sind in jeder Kläranlage erforderlich, um die spezifischen Bedingungen des Einzelfalles entsprechend berücksichtigen zu können.

Die Werte des Jahres 2011 wurden ausgewertet und unter Abstimmung der fehlenden Daten ein **Gesamtstromverbrauch** von rd. **87.500 MWh/a** für die Thüringer Kläranlagen ermittelt. Dies entspricht einer CO_2 -Belastung von rd. 48.000 Tonnen pro Jahr.

Bezogen auf die aus der CSB -Fracht abgeleiteten Einwohnerwerte wurden für jede Kläranlage einwohnerspezifische Verbrauchszahlen berechnet. Es zeigt sich eine klare Tendenz zu einem geringeren spezifischen Stromverbrauch mit zunehmender Anschlussgröße. Während die größeren Kläranlagen etwa im Bereich der Richt- und Idealwerte nach DWA Vorgaben liegen, bewegt sich der spezifische Verbrauch der Anlagen unter 5.000 EW im Mittel um den Faktor drei darüber.

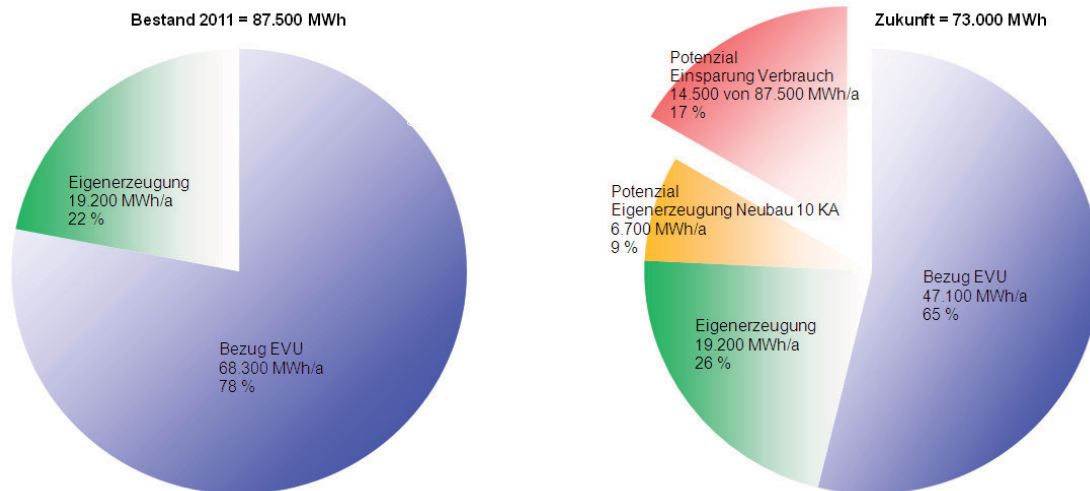


Abbildung 14: Gesamtstromverbrauch Thüringer Kläranlagen Bestand / Einsparpotenzial / Eigenerzeugung

Würden bei allen Anlagen Maßnahmen umgesetzt, damit diese im Bereich der Richtwerte betrieben würden, **könnten rd. 14.500 MWh/a, oder 17% des Gesamtverbrauches an elektrischer Energie bei der Abwasserreinigung eingespart werden, was einer Minderung von ca. 8.000 Tonnen CO₂/a entspricht.**

Aktuell verfügen in Thüringen vierzehn Kläranlagen über die Infrastruktur zur Klärgaserzeugung und -verstromung. Im Jahr 2011 wurden damit rd. **19.200 MWh Strom erzeugt**. Dieser Anteil ist mit etwa 1% an dem insgesamt erzeugten Strom aus erneuerbaren Energien in Thüringen relativ gering. Bezogen auf den Gesamtstromverbrauch aller Kläranlagen beträgt der aktuelle Eigenstromanteil ca. 22%. Nur auf die Anlagen mit Faulung bezogen, die etwa der Hälfte der gesamten Anlagenkapazität entspricht, wird die Hälfte des verbrauchten Stromes selbst erzeugt. Dieser Anteil kann im Einzelfall durch innerbetriebliche Maßnahmen noch weiter gesteigert werden. Eine wesentliche Erhöhung ist jedoch nur durch eine Co-Vergärung zusätzlicher Substrate möglich. In zwei Anlagen in Thüringen wird dies bereits praktiziert. Sie erreichen erstmalig im Jahr 2011 den Status einer bilanziell "energieautarken" Kläranlage.

Die in Kläranlagen aus Faulgas erzeugte Strommenge könnte um ca. **6.700 MWh/a** oder nahezu 30% erhöht werden, wenn in weiteren zehn Kläranlagen zwischen 30.000 EW und 100.000 EW statt der vorhandenen Stabilisierung unter Sauerstoffzufuhr auf einen Betrieb mit **Schlammfaulung** umgestellt und diese Anlagen mit den zugehörigen peripheren Einrichtungen neu gebaut würden. Das Einsparpotenzial entspricht einem CO₂-Äquivalent von 3.700 t/a.

Abbildung 14 gibt die derzeitigen Stromverbräuche wieder und den Zustand der nach der Einbindung der Schlammfaulung in allen größeren Kläranlagen möglich wäre. Heute werden vom Gesamtbedarf in Höhe von 87.500 MWh/a ca. 22% selbst erzeugt (grün). Wird davon ausgegangen, dass zukünftig alle realisierbaren Einsparpotenziale genutzt würden

und alle großen Kläranlagen über eine Schlammfaulung mit Faulgasnutzung verfügen, vermindert sich der Gesamtbedarf bei der elektrischen Energie um 14.500 MWh/a oder ca. 17% auf dann noch **73.000 MWh/a**. Davon könnten insgesamt ca. 35% selbst erzeugt werden.

Viele Betreiber ermitteln bereits den spezifischen Energieverbrauch ihrer Kläranlage. Dies sollte zukünftig bei allen gefordert werden, was durch eine turnusmäßige Abfrage des spezifischen Verbrauchswertes innerhalb des Eigenkontrollberichtes erreichbar wäre. Mit dem 2013 erwarteten DWA-Arbeitsblatt M 216 werden die Energieanalysen in Abwasseranlagen künftig standardisiert und im Prinzip durch den Charakter des Arbeitsblattes praktisch verpflichtend.

Die im Rahmen dieser Ausarbeitung ermittelten Zahlen stellen einen Status Quo auf Basis des Anlagenbestandes und der Verbrauchsdaten 2011 dar. Im Zuge des weiteren Ausbaus kommen noch einige kleinere Kläranlagen hinzu. Damit wird sich der Anlagenbestand erweitern, was zu einem höheren Gesamtstromverbrauch der Kläranlagen führt.

Hinzu kommt die wachsende Zahl an biologischen und damit i. d. R. Strom verbrauchenden Kleinkläranlagen. Aus den Ergebnissen der in der Praxis erhobenen Daten wird deutlich, dass kleine Kläranlagen spezifisch mehr Strom verbrauchen als größere Einheiten. Auch wenn es in Abhängigkeit von der Reinigungstechnik Unterschiede gibt, ist ein durchschnittlicher Verbrauch von 150 kWh/EW/a und mehr bei Kleinkläranlagen realistisch. Sollten 15% der Thüringer Bevölkerung (ca. 330.000 Einwohner) nie an kommunale Kläranlagen angeschlossen werden, würde bei der erforderlichen Umrüstung der vorhandenen mechanischen Kleinkläranlagen ein zusätzlicher Bedarf von mindestens 50.000 MWh/a entstehen. Das zeigt im Vergleich zum heutigen Energiebedarf auf kommunalen Kläranlagen, dass zum einen auch bei Kleinkläranlagen ein enormes Potential zur Energiesenkung vorliegt und dass zum anderen bei der Entscheidung über die Frage dezentrale oder zentrale

abwassertechnische Entsorgung der Faktor Energieverbrauch mit steigenden Energiekosten immer bedeutender wird. Neben dem Stromeinsparpotential beim Anschluss an eine größere Kläranlage ist auch zu beachten, dass zusätzlich rund 15 kWh/EWen regenerativ erzeugt werden könnten und damit der CO₂-Ausstoß noch einmal um rund 6 kg/EWa vermindert werden könnte, sofern der Umschluss an eine Kläranlage mit Faulung und Eigenstromerzeugung erfolgt.

Keinesfalls dürfen die Einsparbemühungen bei der Energie in den Kläranlagen dazu führen, dass dies zu Lasten der Reinigungsleistung und damit der Ablaufwerte geht. Idealerweise erfolgen Energieoptimierungen im Einklang mit verfahrenstechnischen Verbesserungen, so dass hier eine

"win-win-Situation" entsteht. Um optimale Ergebnisse zu erreichen, sollte gezielt externes Wissen und ein qualifizierter Erfahrungsaustausch genutzt werden.

Bei den Kläranlagen stellt der Energieverbrauch einen wesentlichen Teil der Betriebskosten dar und wird auch weiterhin Gegenstand von Optimierungen sein. Die Verbrauchsminderung sowie die Eigenerzeugung werden zukünftig auch unter dem Aspekt noch an Bedeutung gewinnen, dass die Aufwendungen für die Abwasserableitung und Abwasserreinigung den Bürger direkt belasten und diese Aufwendungen in der Öffentlichkeit als hoch eingestuft werden, obgleich sie nur ca. 1 % der gesamten Lebenshaltungskosten (siehe Literatur 10.) ausmachen.

Literatur / Quellen

1. Baumann, P; Roth, M.: "Senkung des Stromverbrauchs auf Kläranlagen", Hrsg.: DWA Landesverband Baden-Württemberg: Heft 4, 2. Auflage, Juli 2008
2. Haberkern, Maier, Schneider im Auftrag des Umweltbundesamtes: "Steigerung der Energieeffizienz auf kommunalen Kläranlagen" März 2008
3. Hessisches Ministerium für Umwelt, Energie, Landwirtschaft und Verbraucherschutz: "Arbeitshilfe zur Verbesserung der Energieeffizienz von Abwasserbehandlungsanlagen" 2010
4. Ministerium für Umwelt, Forsten und Verbraucherschutz Rheinland Pfalz "Steigerung der Energieeffizienz von Abwasseranlagen" Okt 2007
5. Ministerium für Landwirtschaft, Umwelt und Verbraucherschutz Mecklenburg-Vorpommern "Energieeinsatz auf Kläranlagen in Mecklenburg-Vorpommern - Leitfaden zur Optimierung" Aug 2009
6. Seibert-Erling, G.: Praktische Umsetzung von Energiemaßnahmen, erschienen in: Pinnekamp, J. (Hrsg.): Aachener Schriftenreihe zur Stadtentwässerung, Band 14, 11. Kölner Kanal- und Kläranlagenkolloquium, Köln 2010, S. 26/1 - 26/12
7. Dieter Thöle, Kai-Uwe Utecht und Ferdinand Schmitt (Essen) Praktische Erfahrungen mit der Umsetzung von Energiesparmaßnahmen auf Kläranlagen, KA 2004 (51) Nr.6
8. Dr.-Ing. Jedele und Partner GmbH im Auftrag der TLUG: "Co-Vergärung in kommunalen Kläranlagen - Nutzung vorhandener Einrichtungen" Juni 2011
9. Ralf Mitsdoerffer: "Das zukünftige DWA A 216 – Energieanalysen auf Abwasseranlagen" in Tagungsband HACH LANGE Symposium 22. Magdeburger Abwassertage, Sept 2011
10. Thüringer Landesamt für Statistik: Statistischer Bericht Verbraucherpreisindex in Thüringen November 2011, Seite 10, Indexuntergruppe Abwasserentsorgung
11. Dipl.-Ing. Oliver GRETZSCHEL, Prof. Dr.-Ing. Theo G. SCHMITT, tectraa/FG Siedlungswasserwirtschaft an der TU Kaiserslautern, Prof. Dr.-Ing. Joachim HANSEN • Universität Luxemburg - Campus Kirchberg, Ingenieurgesellschaft Dr. Siekmann + Partner mbH in wwt 3/2012: Schlammfaulung statt aerober Stabilisierung?
12. Neubewertung von Abwasserreinigungsanlagen mit aerober Schlammbehandlung vor dem Hintergrund der energetischen Rahmenbedingungen und der abwassertechnischen Situation in Rheinland-Pfalz NAWaS im Auftrag des Ministeriums für Umwelt, Landwirtschaft, Ernährung, Weinbau und Forsten und des Ministeriums für Wirtschaft, Klimaschutz, Energie und Landesplanung Modul 1 (05.08.2010) und Modul 2 (06.12.2011)

Verteilerhinweis:

Diese Druckschrift wird von der Thüringer Landesregierung im Rahmen ihrer verfassungsmäßigen Verpflichtung zur Information der Öffentlichkeit herausgegeben. Sie darf weder von Parteien noch von deren Kandidaten oder Helfern im Zeitraum von sechs Monaten vor einer Wahl zum Zwecke der Wahlwerbung verwendet werden. Dies gilt für alle Wahlen.

Missbräuchlich ist insbesondere die Verteilung auf Wahlveranstaltungen, an Informationsständen der Parteien sowie das Einlegen, Aufdrucken oder Aufkleben parteipolitischer Informationen oder Werbemittel. Untersagt ist auch die Weitergabe an Dritte zur Verwendung bei der Wahlwerbung.

Auch ohne zeitlichen Bezug zu einer bevorstehenden Wahl darf die vorliegende Druckschrift nicht so verwendet werden, dass dies als Parteinahme des Herausgebers zu Gunsten einzelner politischer Gruppen verstanden werden könnte.

Diese Beschränkungen gelten unabhängig vom Vertriebsweg, also unabhängig davon, auf welchem Wege und in welcher Anzahl diese Informationsschrift dem Empfänger zugegangen ist. Erlaubt ist jedoch den Parteien, diese Informationsschrift zur Unterrichtung ihrer Mitglieder zu verwenden.

Copyright:

Diese Veröffentlichung ist urheberrechtlich geschützt. Alle Rechte, auch die des Nachdrucks von Auszügen und der fotomechanischen Wiedergabe, sind dem Herausgeber vorbehalten.

Herausgeber:

Thüringer Ministerium für Landwirtschaft,
Forsten, Umwelt und Naturschutz (TMLFUN)
Stabsstelle Presse, Öffentlichkeitsarbeit, Reden
Beethovenstraße 3, 99096 Erfurt
Telefon: +49(0) 361/ 37 99922 Fax: +49(0) 361/ 37 99939
www.thueringen.de/de/tmlfun E-Mail: poststelle@tmlfun.thueringen.de

Inhaltliche Erarbeitung:

Dr.-Ing. Jedele und Partner GmbH
Verfahrenstechnik, Wasser, Abwasser, Schlamm
Löberwallgraben 8
99096 Erfurt

Redaktion:

Thüringer Landesanstalt für Umwelt und Geologie
Referat 52 - Siedlungswasserwirtschaft, Grundwasser
Göschwitzer Straße 41
07745 Jena

Gestaltung und Satz:

Thüringer Landesanstalt für Umwelt und Geologie

Druck:

Druckerei mehgro GmbH
Gewerbegebiet 2
99765 Urbach

Auflage:

2.000

